# Über den Einfluss der Temperatur auf die Leitfähigkeit von Gläsern.

FELIX BAUMEISTER.

# Über den Einfluss der Temperatur auf die Leitfähigkeit von Gläsern.

---

Inaugural-Dissertation

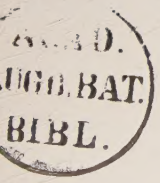
zur

**Erlangung der Doktorwürde**

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität

ROSTOCK




vorgelegt von

Felix Baumeister

aus Bochum.

---

BOCHUM.

Märkische Vereinsdruckerei Schürmann & Klagges.

1912.

Referent: Herr Professor Dr. A. Heydweiller.
Tag der mündlichen Prüfung: 28. Juni 1912.

Vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung und unter Leitung von Herrn Professor Dr. A. Heydweiller im physikalischen Institut der Universität Rostock ausgeführt.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle

Herrn Professor Dr. A. Heydweiller

für die mir während der Ausführung meiner Arbeit gegebenen Ratschläge und mir oft in väterlicher Weise erteilte Hilfe meinen aufrichtigsten Dank zu sagen.

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit.

## Einleitung.

Schon mehrfach ist über das vorliegende Thema gearbeitet worden. Diese Arbeit hatte nun den Hauptzweck, das vorhandene Material dadurch zu erweitern, daß neue Gläser untersucht wurden, deren chemische Analyse zwar nicht bekannt, die aber allein durch ihre Herkunft und Bezeichnung gut definiert sind. Es wurden dann noch einige Gläser untersucht, die im hiesigen Institut häufiger Verwendung finden, sowie amorpher Quarz (Quarzglas). Ferner erstreckten sich die Versuche über ein bedeutend größeres Temperaturintervall als die früheren, indem die Temperatur von 120° bis 660° variiert wurde. Neu war dann an der Versuchsanordnung, daß hier an Stelle der gebräuchlichen Metallelektroden (Amalgam oder Legierungen) geschmolzene Salze als Übergangswiderstände traten.

Durch die angestellten Experimente wurden die bisherigen Ergebnisse bestätigt. Die von Beetz [1]), Bollé [2]) und mir gemachten Beobachtungen wurden dann auf das von Rasch und Hinrichsen [3]) aufgestellte Temperaturgesetz hin geprüft:

$$\ln K = -\frac{\nu'}{T} + C'$$

worin K die Leitfähigkeit, T die absolute Temperatur, $\nu'$ eine Konstante, vermutlich eine Wärmegröße, und

[1]) W. Beetz, Pog. Ann. Jubelband, 23, 1874.
[2]) E. Bollé, Inaug.-Diss. Berlin 1900.
[3]) E. Rasch und F. W. Hinrichsen, „Über eine Beziehung zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Temperatur." Z. f. Electrochemie 14, 41, 1908.

C eine Materialkonstante bedeutet. Die Resultate der Prüfung sind neben den Beobachtungen in den Tabellen wiedergegeben, nachdem zuvor die beobachteten Widerstände auf spezifische Widerstände Ohm $\times$ cm umgerechnet waren.

Bevor auf die Versuchsanordnung und die Versuche selbst eingegangen wird, sei zunächst eine kurze Übersicht über das vorhandene Beobachtungsmaterial gegeben, das mit diesem Gegenstand in Zusammenhang steht.

## Geschichtlicher Überblick.

Daß erhitztes Glas elektrisch leitet, hatte Cavendisch [1]) bereits am Ende des 18. Jahrhunderts bemerkt. Beetz [2]) war der erste, der diese Leitung infolge der von ihm beobachteten Polarisation als eine elektrolytische auffaßte. Buff [3]) schloß sich dieser Auffassung an. Von ihm wurden nun die ersten Versuche angestellt, den Leitungswiderstand des Glases bei Temperaturen von 200° bis 400° numerisch zu bestimmen. Die Versuchsgläser waren in Röhrenform hergestellt. Als Übergangswiderstände diente ihm Quecksilber, das innen und außen gleich hoch stand. Die Verbindung nach außen war durch Platindrähte, die in das Quecksilber tauchten, hergestellt. Dieser Apparat bildete mit einer sehr empfindlichen Tangentenbussole den Schließungsbogen zweier Daniellschen Elemente. Letztere für sich durch die Tangentenbussole geschlossen, bewirkten eine feste Ablenkung von 79°. Der Strom wurde jedesmal kurz geschlossen und dann kommutiert; von den beiden beobachteten Ausschlägen wurde dann das Mittel genommen. Mit Hilfe der so bestimmten Ablenkungen, sowie der nach dem Ohmschen Gesetze sich ergebenden Gleichungen:

$$r \cdot \operatorname{tg} 79^0 = K, \text{ und } (L + r) \operatorname{tg} \beta = K$$

sind die Leitungswiderstände des Glases bei verschiedenen Temperaturen berechnet worden. L bedeutet hier den gesuchten Widerstand, r den bekannten des Multiplikatorgewindes, $\beta$ ist die feste Ablenkung der Nadel, K die elektromotorische Kraft der Daniellschen Batterie. Aus diesen Gleichungen wurde abgeleitet:

$$L = r \frac{\operatorname{tg} 79^0 - \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \beta}.$$

[1]) Cavendisch, Franklin, experiments and observations on electricity. 5. ed. London 1774, pag. 411.

[2]) W. Beetz, Pog. Ann. 92, 464, 1854.

[3]) H. Buff, Ann. d. Chem. & Pharm. 90, 257, 1854.

Er fand, daß mit steigender Temperatur der Widerstand des Glases abnimmt. Gleichzeitig bemerkte er bei längerem Stromdurchgange eine allmähliche starke Abnahme des von der konstanten Quelle durch das Glas geschickten Stromes. Diese Erscheinung schrieb er dann der mit der Zeit zunehmenden Polarisation zu.

Darauf stellte Beetz[1]) im Jahre 1874 mit drei analysierten Gläsern Versuche an. Ein auf die zu untersuchende Glasplatte aufgeschliffener Glaszylinder war mit Rose'scher Metalllegierung gefüllt; die Glasplatte selbst lag auf dieser Legierung. Der Widerstand des Glases wurde zwischen den Temperaturen 170,5° bis 349° mit Hilfe eines Galvanometers mit einem anderen Widerstande verglichen. Die elektromotorische Kraft lieferte ihm eine von ihm selbst angefertigte Säule, deren Spannung nicht näher bekannt ist. Um die Polarisation so gering wie möglich zu machen, wurde der Strom immer nur kurze Zeit geschlossen. Er bezog seine Werte auf Quecksilbereinheiten, die von mir auf Ohm $\times$ cm umgerechnet wurden. Die Resultate seiner Beobachtungen sind sehr genau, wie aus den Tabellen und den graphischen Darstellungen hervorgeht. Der Befund von Buff wurde von ihm bestätigt gefunden, daß mit zunehmender Temperatur der Widerstand des Glases sehr stark abnimmt.

Im folgenden Jahre beobachtete Sir William Thomson[2]) unter Benutzung eines Quadrantelektrometers an einer Flintglasplatte, die zwischen Kupfer und Zink gehalten wurde, bereits unterhalb 50° elektrisches Leitungsvermögen, wobei an den Berührungsstellen des Glases und Metalles Polarisationserscheinungen auftraten.

Fast gleichzeitig mit ihm hat Perry[3]) Glas in Form von Glasballons auf seine Leitfähigkeit hin untersucht. Die Außenseite des Glasballons war mit Zinnfolie bedeckt,

[1]) W. Beetz, Pog. Ann. Jubelband, 23, 1874.
[2]) Sir William Thomson, Proc. of the Roy. Soc. 23, 463, 1875.
[3]) J. Perry, Proc. of the Roy. Soc. 23, 468, 1875.

der Ballon selbst war mit Wasser gefüllt und lief in eine lange Kapillare aus, durch die ein Metalldraht ins Innere führte. Dieser Apparat diente ihm als Kondensator; darauf wurde an einem Elektrometer die Abnahme der Potentialdifferenz abgelesen. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen lassen sich nach ihm durch die Formel ausdrücken:

$$C = c \cdot \alpha^{t},$$

wo C die Leitfähigkeit bei der Temperatur (166 + t) Fahrenheit, c und $\alpha$ Konstanten sind. Er setzte bei allen Temperaturen die Kapacität des Ballons als konstant voraus und untersuchte nur bei Temperaturen bis 100°.

Im Jahre 1880 maß dann Th. Gray [1]) den Widerstand des Glases, indem er in den Strom einer Daniell-Batterie ein astatisches Galvanometer von sehr großem Widerstande und das zu untersuchende Glas in Form von einem Kolben einschaltete, der, mit Quecksilber gefüllt, in ein weiteres, gleichfalls mit Quecksilber gefülltes Gefäß tauchte. Auch er bediente sich bei einigen Messungen statt des Galvanometers des Quadrantelektrometers von Thomson, indem der Glaskolben in der erwähnten Weise als Kondensator verbunden war. Th. Gray [2]) hat dann noch in zwei späteren Arbeiten die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes außer von der Temperatur noch von der Dichtigkeit und chemischen Zusammensetzung untersucht. Im Verein mit ihm arbeiteten dann And. Gray und J. J. Dobbie [3]). Diese Versuche wurden nach der erwähnten Methode vorgenommen. Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur stellte Th. Gray durch die Formel dar:

$$\log R = c - c^{t},$$

wo R der Widerstand des Glases, t die Temperatur, c und

[1]) Th. Gray, Phil. Mag. 10, 226, 1880.
[2]) Th. Gray, Chem. News 45, 27, 1882.
„ „ Proc. of the Roy. Soc. 34, 222, 1883.
[3]) Th. & Andr. Gray & J. J. Dobbie, Proc. of the Roy. Soc. 36, 488, 1884.

c′ Konstanten sind, die jeweilig vom Material abhängen. Das Temperaturintervall erstreckte sich von 10° bis 200°. In der gemeinsamen Arbeit zeigen dann die drei Forscher, daß der Widerstand des Glases mit zunehmendem Natron- und Kaligehalt abnimmt, dagegen mit steigendem Gehalt an Bleioxyd und der Dichtigkeit zunimmt.

Gleichzeitig bestimmte Foussereau [1]) den Widerstand verschiedener Glassorten. Er untersuchte bei Temperaturen von $-17°$ bis $+105°$. Das zu untersuchende Glas war in Reagenzglasform hergestellt, das mit einer gutleitenden Flüssigkeit gefüllt war, und in dieselbe Flüssigkeit getaucht wurde. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen führten ihn zu der Formel:

$$\lg r = a - bt + ct^2,$$

wo t die betreffende Temperatur und a, b, c gewisse Konstanten sind.

Bislang hatten die einzelnen Forscher immer nur vermuten können, daß die elektrische Leitung des festen Glases mit einer Elektrolyse verbunden sei, den einwandfreien Nachweis dafür lieferte erst E. Warburg [2]). Er zeigte, daß die von Buff aufgestellte Behauptung, daß die Schwächung des Stromes auf zunehmende Polarisation zurückzuführen sei, irrig sei, daß diese Erscheinung vielmehr, infolge der Wanderung des Natriums an die Kathode, von einer an der Anode sich bildenden natriumarmen Schicht von sehr großem Widerstande herrühre. Bei Verwendung von Natriumamalgam als Anode trat die Schwächung des Stromes nicht ein, wie E. Warburg und sein Schüler F. Tegetmeier [3]) bei späteren Versuchen gezeigt haben.

Messungen mit Anwendung von Natriumamalgam als Elektrodensubstanz sind dann im Jahre 1897 von Denizot [4])

[1]) M. G. Foussereau, Journal de Physique 11, 254, 1883.
[2]) E. Warburg, Wied. Ann. 21, 622, 1884.
[3]) E. Warburg und F. Tegetmeier, Wied. Ann. 35, 1888.
F. Tegetmeier, Wied. Ann. 41, 1890.
[4]) A. Denizot, Inaug.-Diss. Berlin 1897.

angestellt worden. Die chemische Zusammensetzung seiner Gläser war genau bekannt. Die experimentellen Befunde dieser Arbeit bestätigen die Ergebnisse von Dobbie und Gray: Die Abnahme des Leitvermögens mit abnehmendem Natrium- und Kaliumgehalt einerseits und mit zunehmendem Blei- und Bariumgehalt andererseits.

Im Jahre 1900 erschien dann die Arbeit von Bollé [1]), die sich mit dem elektrischen Leitvermögen von Glas und Bergkristall befaßte. In dieser Abhandlung gelangten vierzehn analysierte Gläser zur Untersuchung. Er maß seine Glaswiderstände im allgemeinen nach der zuerst von Siemens zur Bestimmung hoher Isolationswiderstände angegebenen Methode. Ist der eine Pol einer Batterie von konstanter Potentialdifferenz $v$ mit der Erde, der andere Pol durch den hohen zu messenden Widerstand x mit der einen Belegung eines Kondensators von der Kapacität c verbunden, dessen andere Belegung ebenfalls zur Erde abgeleitet ist, so lädt sich der Kondensator asymptotisch auf die Potentialdifferenz $v$. Hat er nach T Sekunden sich auf die Potentialdifferenz $v$ geladen, so ist der Widerstand

$$x = \frac{T}{c \cdot \log \text{nat.} \frac{v}{v - v}},$$

wobei man c in Farad ausdrücken muß, um x in Ohm zu erhalten. Die Potentialdifferenz $v$ des Kondensators wurde mittels eines ballistischen Galvanometers gemessen. Die angewandte elektromotorische Kraft betrug 120 Volt.

Bei besser leitenden Gläsern wurde diese Methode der Widerstandsmessung verlassen und der Widerstand nach dem Ohmschen Gesetze bestimmt, indem eine genau gemessene Spannung von sechs Akkumulatoren bis herab zu einem einzigen durch das Glas und das Galvanometer geschlossen wurde.

[1]) E. Bollé, Inaug.-Diss. Berlin 1900.

Zur Fassung der zu untersuchenden Glasplatte wurde der von Warburg und Tegetmeier angegebene Apparat benutzt. Die Platte wurde zwischen zwei cylindrische Gefäße, deren Seiten verschließend, gebracht, die durch Ansatzröhren mit Natriumamalgam gefüllt werden konnten. Die Gefäße waren durch zwei parallel zur Achse geschnittene dicke Quarzplättchen von dem Schraubstock isoliert, der das ganze zusammenhielt.

Die Ergebnisse seiner Untersuchungen sind in vorliegender Arbeit verwertet worden und in den Tabellen aufgeführt. Die Arbeit bestätigt im allgemeinen die Befunde Denizots und erweiterte sie ganz beträchtlich. Leider ist das Temperaturintervall von 100° bis 175° oder 200° ein sehr enges; die Messungen erstrecken sich zudem nur auf vier, höchstens fünf Punkte.

Sechs Jahre später erschien dann eine Abhandlung von O. Reichenheim[1]) in Freiburg. J. Koenigsberger[2]) hat im Anschluß an die Untersuchungen von Reichenheim über die Leitfähigkeit von Metallsulfiden und -oxyden für die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur auf Grund der neueren Elektronen-Leitungstheorie die Formel aufgestellt:

$$W = W_0 \, (1 + \alpha t + \beta t^2) \, e^{-q \frac{t}{273 \cdot T}},$$

worin T die absolute Temperatur und t die Celsiustemperatur, W der Widerstand und $\alpha$ und $\beta$ Konstanten sind. Durch die Untersuchungen von Rasch und Hinrichsen[3]), die für das Glas und andere Isolatoren ziemlich gut das Temperaturgesetz bestätigt fanden, das bereits in der Einleitung näher angegeben wurde, kommt Koenigsberger[4])

[1]) O. Reichenheim, Inaug.-Diss. Freiburg i. B. 1906.
[2]) J. Koenigsberger u. O. Reichenheim, Phys. Z. S. 16, 570, 1906.
J. Koenigsberger, Phys. Z. S. 8, 1907.
„ „ , Jahresbericht f. Radioakt. u. Electron. 1907.
J. Koenigsberger u. K. Schilling, Phys. Z. S. 9, 351, 1908.
[3]) E. Rasch u. Hinrichsen, Z. S. f. Electrochemie 14, 41, 1908
[4]) J. Koenigsberger, Z. S. f. Electrochemie 15, 97, 1909.

in seiner Abhandlung zu dem Schluß, daß es nur zwei Arten elektrischer Leitfähigkeit gibt, nämlich elektrolytische — die durch Jonen — oder metallische, — die durch Elektronen vermittelt wird. So wurde er dazu geführt, auch für die Jonenleitung eine ähnliche Formel wie für die Elektronenleitung aufzustellen, und zwar als eine Erweiterung der von Rasch und Hinrichsen angegebenen:

$$W = W_0 (1 - \alpha t \pm \beta t^2) e^{-q \cdot \frac{t}{273 \cdot T}}.$$

Weil nun $\alpha$ und $\beta$ sehr kleine Größen sind, so kann, wie Koenigsberger ausführt, bei hohen Werten von q der Klammerfaktor weggelassen werden, sodaß dann für Jonen- und Elektronenleitung das gleiche Temperaturgesetz gilt:

$$W = C \cdot e^{-\frac{q}{T}} \quad \text{oder} \quad W = W_0 \cdot e^{-q \frac{t}{273 \cdot T}}.$$

Die Beobachtungen, die Dietrich[1]) 1909 machte, wurden auf diese Formel hin geprüft. Wie er gezeigt hat, wird das Gesetz im allgemeinen bestätigt, besonders gut bei Kautschuk. Glas macht hier nach Dietrich eine deutliche Ausnahme.

Im Jahre 1910 erschienen dann noch zwei Arbeiten, die eine von Kerschbaum[2]) und die andere von A. A. Sommerville[3]), die für den vorliegenden Gegenstand nichts wesentlich Neues bringen.

---

[1]) W. Dietrich, Inaug.-Diss. Göttingen 1909.
[2]) F. P. Kerschbaum, Inaug.-Diss. Leipzig 1910.
[3]) A. A. Sommerville, Phys. Rev. 31, 269, 1910.

## Versuchsanordnung.

Die Versuche wurden in ähnlicher Weise angeordnet wie bei Kopfermann[1]) und erstreckten sich auf Temperaturen von 120° bis 660°. Um diese Temperaturen zu erzielen und genügend konstant zu erhalten, wurde ein elektrischer Ofen von der Firma Heraeus, Frankfurt, benutzt. Er bestand aus einer mit der Platinheizspirale umwickelten Porzellanröhre, die einen Durchmesser von 3 cm hatte und nach außen hin durch einen dicken Mantel von Asbest gegen Wärmeverlust geschützt war, und wurde mit einem von 12 bis 40 Akkumulatoren gelieferten Strom erheizt. Mit Stromstärken von zwei bis acht Ampère, die mit Hülfe der im Heizstromkreis eingeschalteten Regulier-Widerstände leicht zu verändern waren, wurden die jedesmal gewünschten Temperaturen hergestellt. Als Wärmemesser diente bei den leichtschmelzbaren Gläsern ein hochgradiges Quecksilberthermometer mit Stickstoffüllung, das die Temperaturen von 80° bis 500° abzulesen gestattete. Das Thermometer wurde verglichen mit einem von der Reichsanstalt zu Berlin geeichten Thermoelement. Die Korrektur des herausragenden Fadens wurde in bekannter Weise vorgenommen. Die höheren Temperaturen wurden durch das eben erwähnte Thermoelement fixiert. Das Thermoelement war, beiläufig bemerkt, bei allen Versuchen gleichtief in den Ofen eingetaucht. Oben und unten war der Ofen durch Asbestpfropfen verschlossen. Der obere Pfropfen enthielt in der Mitte ein Loch zur Aufnahme des Thermoelements resp. des Thermometers und außerdem noch drei eingefeilte Rillen, durch die drei Drähte, der Aufhängedraht und die beiden Elektroden, in die Heizröhre geführt wurden.

[1]) Vergl. F. Kopfermann, Inaug.-Diss. Münster 1908.
A. Heydweiller u. F. Kopfermann, Ann. d. Phys. 32, 740, 1910.

Die zu untersuchenden Gläser wurden in Röhrenform untersucht. Aus diesem Grunde konnte nur eine beschränkte Anzahl behandelt werden, da die meisten Gläser nur in Form von Platten geliefert werden. Die Dimensionen sind bei jedem Versuch vorher bemerkt. Die Länge der Röhren betrug 10 bis 15 cm. Das Versuchsgläschen wurde in ein Reagenzglas aus Jenaer Verbrennungsglas gestellt. Die Stromzuleitungen bestanden 1) aus einem Kupferdraht, der in einem $1^1/_2$ cm hohen dem Glase ziemlich anliegenden Messingzylinder endigte, 2) aus einem konaxialen Kupferdraht im Innern des Versuchsröhrchens. Reagenzglas wie Versuchsglas waren zum vierten Teil mit einer Mischung von K — und Na — $NO_3$, bei den Versuchen von 120° bis 250° mit einer Mischung von K —, Na — und Li — $NO_3$ gefüllt.

Als Stromquelle diente die städtische Centrale. Die Schaltung war nun folgendermaßen: Von der Stromquelle durch einen Widerstand von 200 Ω, durch ein Präcisionsvolt und Ampèremeter, von Siemens und Halske, mit verschiedenen Empfindlichkeitsbereichen, an dem nach $^1/_{10}$ Milliampère abgelesen und $^1/_{100}$ geschätzt werden konnten, zum Kommutator, dann zur Elektrode im Reagenzglas, durch das geschmolzene Salz, das Versuchsglas, wieder geschmolzenes Salz durch den Kupferdraht oder umgekehrt zum Kommutator und von hier zur Stromquelle zurück. Der Ballastwiderstand von 200 Ω war notwendig, um beim Zerspringen des Röhrchens während des Versuches Kurzschluß zu vermeiden. Die Stromstärken betrugen bei den verschiedenen Versuchen und Temperaturen einige Milliampère bis zu 1,2 Ampère. Bei der Untersuchung des Quarzröhrchens reichte der Empfindlichkeitsbereich des Meßinstrumentes bei den niederen Temperaturen nicht mehr aus; es mußte infolgedessen ein empfindlicheres Spiegelgalvanometer zur Hilfe genommen werden.

Der Widerstand wurde aus Spannung und Stromstärke abgeleitet, die Spannung unmittelbar vor und nach jedem

Versuch gemessen; sie schwankte zwischen 220 und 230 Volt. Aus den beiden Ablesungen wurde dann das Mittel genommen. Von dem berechneten Widerstande mußte dann jedesmal der Verschaltwiderstand in Abzug gebracht werden, $w' = 200\ \Omega$, und der Übergangswiderstand der geschmolzenen Salzmischung. Für den Übergangswiderstand der geschmolzenen Salzmischung bei den einzelnen Temperaturen ergaben sich aus den diesbezüglich angestellten Versuchen sehr kleine Werte:

bei 250° . . . . circa 4 $\Omega$,
bei 500° . . . . circa 0,75 $\Omega$.

Hieraus folgt, daß der Übergangswiderstand in den meisten Fällen zu vernachlässigen war und nur bei sehr kleinen Widerständen eine geringe Korrektion angebracht werden mußte, die berücksichtigt wurde. Aus den so erhaltenen Widerständen ergab sich dann der spezifische Widerstand $\sigma$ durch Multiplikation mit $\frac{2\,\pi\,\lambda}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$, wenn $\lambda$ (1,5 cm) die Länge der äußeren Elektrode, $r_2$ der äußere (5,85—4,35 mm), $r_1$ der innere Radius (4,25—3,5 mm) der Versuchsröhre war; das spezifische Leitvermögen $K \cdot \frac{1}{\text{Ohm} \times \text{cm}}$ ist dann dessen reciproker Wert.

Die Konstanten $n$ und C wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

Um den störenden Einfluß der Polarisation an den Elektroden und der Widerstandsänderung durch den Meßstrom so gering wie möglich zu machen, wurde dieser jedesmal nur kurz geschlossen und dann kommutiert. Wenngleich nun die Elektrolyse bei jedem Versuch von ganz geringer Dauer war, zeigte das Röhrchen prachtvolle Färbungen infolge des oberflächlich eingewanderten Kupfers.

Daß dadurch und durch die Erwärmung keine merkliche bleibende Änderung des Widerstandes auftrat, wurde dadurch festgestellt, daß die Beobachtungen bei aufsteigender und absteigender Temperatur angestellt wurden,

sodaß der Widerstand beim Zurückgehen auf die Anfangstemperatur wieder der ursprüngliche war.[1])

An dieser Stelle darf ich wohl noch einmal kurz auf die Vorzüge dieser Versuchsanordnung zurückkommen. Es handelt sich hierbei hauptsächlich um drei Vorteile:

1. die Polarisation konnte infolge der großen angewandten elektromotorischen Kräfte vernachlässigt werden;
2. die Bildung schlechtleitender Schichten $Si\,O_2$ kam wegen Anwendung geschmolzener Salze als Elektrodenflüssigkeit ganz in Fortfall;
3. es traten keine dauernden Veränderungen durch den Meßstrom ein wegen der kurzen Stromwirkung in abwechselnder Richtung.

[1]) Vergl. die Belege weiter, Seite 19.

## Versuche.

Die Vorversuche nahmen geraume Zeit in Anspruch. Es handelte sich hierbei zunächst darum, die gewünschten Temperaturen genügend lange konstant zu halten, was durch einen feineren Regulierwiderstand geschah. Festgestellt wurde die Konstanz dadurch, daß unmittelbar vor und nach jedem Versuch die Temperatur am Thermometer resp. Thermoelement konstant gefunden wurde. Dann kam weiter in Betracht, die Zeit festzustellen, in der das Glas die vom Thermometer angezeigte Temperatur angenommen hatte. Zu diesem Zwecke verfuhr ich folgendermaßen: Es wurde ein Asbestpfropfen mit doppelter Durchbohrung angefertigt. Nachdem nun die Gläser mit den Salzmischungen in die Heizröhre gebracht waren, wurden Thermometer und Thermoelement gleichzeitig in den Ofen gebracht, und das Thermometer bis in die Salzmischung getaucht. Dann wurden die gewünschten Temperaturen im Ofen hergestellt; war diese erlangt, so vergingen immer noch circa 10 Minuten, bis Thermoelement und Thermometer — einschließlich der Korrektur des herausragenden Fadens — gleich hohe Temperaturen anzeigten. Diese Versuche wiederholte ich öfter mit stets gleichem Erfolge, sodaß ich in der Lage war, die Temperaturen -- mit Einschluß des Ablesungsfehlers am Millivoltmeter des Thermoelementes — bis auf 2° Genauigkeit anzugeben.

Wie ich bereits erwähnt habe, operierte ich bei auf- und absteigenden Temperaturen; ich begann aber meistens mit einer ziemlich hohen Temperatur, weil bei absteigenden Temperaturen leichter Salzmischung und Heizröhre die gleichen Temperaturen erlangten, und dies nicht so lange Zeit in Anspruch nahm. Ich suchte auch des öfteren bei auf- und absteigender Temperatur dieselbe Temperatur zu erhalten. Da der Einfluß der Temperaturerhöhung wenige Hundertstel Ohm bis 17 Ohm und noch mehr pro

Grad beträgt, so sind die Abweichungen, die diesbezüglich die Tabellen aufweisen, auf Temperaturunterschiede von durchschnittlich etwa $^1/_2{}^0$—3°, in ungünstigen Fällen auch mehr, zurückzuführen. (Vergl. unten.)

Endlich handelte es sich darum, festzustellen, ob eine Veränderung der Gläser vor sich gegangen war. Die geringen Einwanderungen von den Salzgemischen und dem Kupfer hatten die Leitfähigkeit in keiner Weise beeinträchtigt. Als Beleg hierfür stellte ich hier einige beobachtete Widerstände bei auf- und absteigender Temperatur nebeneinander; bei keinem meiner Gläser zeigten die mit sinkender Temperatur gemessenen Werte eine Abweichung von den bei steigender Temperatur gefundenen, welche die durch die Unsicherheit der Temperaturbestimmung bedingten Fehler übertraf. Die geringen Abweichungen sind, wie bereits erwähnt, teils auf Temperaturunterschiede von durchschnittlich $^1/_2{}^0$—3°, teils auf die Spannungsdifferenzen der angewandten elektromotorischen Kräfte zurückzuführen. So wurden z. B. bei dem Jenaer Geräte-Glas die Widerstände gefunden:

| Aufst. Temp. | | Absteigende Temp. | Widerstandsänderung pro 1° |
|---|---|---|---|
| 350° — 1620 Ω | — | 1608 Ω | circa 17 Ω |
| 400° — 473 Ω | — | 476 Ω | circa 4,3 Ω |
| 500° — 115 Ω | — | 116 Ω | circa 0,79 Ω, |

in anderen Fällen war die Übereinstimmung weniger gut; z. B. bei Glas 59 III:

| Aufst. Temp. | | Absteigende Temp. | Widerstandsänderung pro 1° |
|---|---|---|---|
| 602° — 6,13 Ω | — | 5,84 Ω | circa 0,026 Ω, der Unterschied entspricht hier circa 11° Temp.-Differenz. |

Deutlicher als in diesen Fällen tritt es beim Quarz zutage. Ich hatte den Widerstand des Quarzes bei 560° gemessen bei aufsteigender Temperatur zu 242,4 Ω; nach dem Erwärmen auf 659° fand ich dann bei der absteigenden Temperatur bei 560° fast genau denselben Widerstand zu 242,5 Ω. Bei 460° ergab sich 1474 Ω; bei

tieferen Temperaturen reichte die Empfindlichkeit des Meßinstrumentes nicht mehr aus. Ich mußte den Versuch abbrechen; einige Tage später stellte ich dann einen neuen Versuch mit einem empfindlicheren Instrument an. Bei der aufsteigenden Temperatur erhielt ich dann bei 460° fast denselben Wert 1474,4 Ω, obschon das Quarzglas inzwischen ganz abgekühlt worden war.

Dasselbe gilt von Glas 59 III. Die Widerstände bei 250° waren fast dieselben, obschon das Glas bis 602° erhitzt, abgekühlt, gereinigt und außerdem noch in neue Salze gebracht war.

250° — abst. T. 2313 Ω — aufst. T. 2312,7 Ω.

Beiläufig darf ich hier wohl erwähnen, daß die Resultate um so besser ausfielen, je mehr Versuche ich angestellt hatte. Dies geht vor allem aus den Versuchen mit dem Quarzglase hervor, die ich zuletzt vorgenommen habe.

Somit komme auch ich zu demselben Schluß, den Bollé bereits vor mir gezogen hatte, daß die Gläser nach der Veränderung der Temperatur kaum irgend welche Veränderung bezüglich ihrer Leitfähigkeit aufweisen, sodaß die Angaben Denizots, daß die Gläser im allgemeinen nach veränderter Temperatur einen anderen Widerstand haben sollen als vorher, sich als irrig erweisen. Daß Denizot diesen Schluß ziehen konnte, lag wohl an seiner mangelhaften Temperaturbestimmung, da er die Temperatur im Luftraum maß, und nicht anzunehmen ist, wie auch meine Versuche zeigen, daß die umgebende Temperatur mit der des Glases resp. der Elektrodenflüssigkeiten bis auf kleine Differenzen übereinstimmt.

Die Widersprüche, die bezüglich der Bleigläser bei Beetz und Bollé sich vorfinden, konnte ich nicht lösen, da mir ähnliche Gläser nicht zur Verfügung standen.

In der Einleitung habe ich schon erwähnt, daß ich meine Untersuchungen auf Grund der Formel von Rasch und Hinrichsen geprüft habe. Die Formel sagt aus:

$$\log W = \frac{\nu}{T} + C,$$

wenn W der spezifische Widerstand, T die absolute Temperatur, $\nu$ und C Konstanten sind. Die Konstanten wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet.

Hervorgehoben hatte ich auch bereits, daß Dietrich die von Koenigsberger erweiterte Formel auf seine Untersuchungen angewandt hatte und zu dem Resultat gelangt war, daß auf Glas diese Formel keine Anwendung finden könnte, weil beim Glase die Werte von q und $W_0$ zu sehr von Schwankungen seiner Zusammensetzung und seiner Struktur abhängig seien.

Die Versuche von Beetz, zum Teil auch die von Bollé und endlich meine Versuche zeigen aber, daß das von Rasch und Hinrichsen aufgestellte Temperaturgesetz mit beträchtlicher Genauigkeit und in weiten Temperaturgrenzen Anwendung auf Glas findet. Die Abweichungen von dem Exponentialgesetz — von den verschiedenen Seiten — sind augenscheinlich auf Beobachtungsfehler, namentlich auf Unsicherheiten der Temperaturbestimmung zurückzuführen — und nicht, wie Dietrich bemerkt hat, darauf, daß das Glas überhaupt eine Ausnahme von diesem Gesetze mache, — da der Temperaturunterschied schon bei einem Grade derartig große Unterschiede in der Leitfähigkeit nach sich zieht und die Temperatur selbst bei größter Genauigkeit auf etwa 1° bis 2° genau angegeben werden kann. Gerade auf die Nichtkonstanz der Temperatur sind meines Erachtens die meisten Abweichungen zurückzuführen. Dann spielen auch bei manchen Versuchen die Übergangswiderstände eine wichtige und große Rolle dabei.

## Näheres über die benutzten Gläser.

Die bei den Versuchen benutzten Gläser entstammen den Fabriken von Franz Schilling in Gehlberg i. Thür. und Schott und Gen. in Jena. Die Zusammensetzung derselben war abgesehen von den beiden Thermometer-Gläsern $16^{III}$ und $59^{III}$ nicht angegeben; auch sind dieselben hier nicht analysiert worden.

**Thüringerglas von Franz Schilling** (Tabelle 1.)

Auss. D.: 11,5
Lichter D.: 8,5 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,5

Die Versuche erstreckten sich auf Temperaturen von 250°—489° Celsius.

$$C = -2,7886;\ \nu = 4776.$$

Es wurde durch den Versuch hellgelb gefärbt.

**Kaliglas von F. Schilling** (Tabelle 2).

Auss. D.: 8,7
Lichter D.: 6,7 } mm; auss. Elektrode = 1,43 cm.
Wandstärke: 1

Temperaturintervall: 254°—640° C.

$$C = 2,8816;\ \nu = 2884.$$

Färbung: Schwachgelb.

**Geräte-Glas von Schott u. Gen.** (Tabelle 3).

Auss. D.: 12,0
Lichter D.: 9,0 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,5

Temperaturintervall: 238°—489° C.

$$C = -1,8399;\ \nu = 4186.$$

Färbung: Schwachgelb.

**Glas 16 III von Schott u. Gen.** (Tabelle 4).

Das bekannte Thermometerglas; seine Analyse ist in der Tabelle 30 mit angegeben.

Auss. D.: 10,0
Lichter D.: 7,6 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,2

Temperaturintervall: 250°—629° C.

$C = 0{,}0578$; $\nu = 3405$.

Färbung: Schwachgelb.

**Glas 59 III von Schott u. Gen.** (Tabelle 5).

Ebenfalls Thermometerglas; seine Analyse ist in Tabelle 30 angegeben.

Auss. D.: 9,8
Lichter D.: 7,4 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,2

Temperaturintervall: 120°—602° C.

$C = -1{,}4870$; $\nu = 3335$.

Färbung: Schwachgelb.

**Uviolglas von Schott u. Gen.** (Tabelle 6).

Auss. D.: 10,0
Lichter D.: 7,6 } mm; auss. Elektrode = 1,54 cm.
Wandstärke: 1,2

Temperaturintervall: 250°—600° C.

$C = -3{,}8593$; $\nu = 6742$.

Es wurde weniger durchsichtig und hellgelb gefärbt.

**Verbrennungsglas von Schott u. Gen.** (Tabelle 7.)

Auss. D.: 9,9
Lichter D.: 6,9 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,5

Temperaturintervall: 250°—607° C.

$C = -1{,}8968$; $\nu = 3892$.

Das Glas fluoreszierte stark.

**Verbundglas von Schott u. Gen.** (Tabelle 8).

Auss. D.: 9,8
Lichter D.: 7,0 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,4

Temperaturintervall: 252°—603° C.

$C = -2{,}0544$; $\nu = 3781$.

Färbung: Schwachgelb.

**Glas 397III von Schott u. Gen.** (Tabelle 9).

Auss. D.: 10,0
Lichter D.: 8,0 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,0

Temperaturintervall: 239°—490° C.

$C = -2{,}9001$; $\nu = 4519$.

Färbung: Schwachgelb.

**Duraxglas von Schott u. Gen.** (Tabelle 10).

Auss. D.: 11,7
Lichter D.: 8,5 } mm; auss. Elektrode = 1,52 cm.
Wandstärke: 1,6

Temperaturintervall: 250°—600° C.

$C = -1{,}9191$; $\nu = 3911$.

Färbung war schön gelb.

**Quarzglas von W. C. Heraeus, Hanau** (Tabelle 11).

Auss. D.: 7,3
Lichter D.: 5,3 } mm; auss. Elektrode = 1,5 cm.
Wandstärke: 1,0

Temperaturintervall: 264°—659° C.

$C = 1{,}4028$; $\nu = 4541$.

Das Röhrchen wurde milchig und fast undurchsichtig.

## Ergebnisse.

Die folgenden Tabellen enthalten in Zahlen die Ergebnisse der Messungen. In ihnen bedeutet:

$t^0$ die beobachtete Celsiustemperatur,

T die absolute Temperatur,

$\sigma$ der spezifische Widerstand in Ohm $\times$ cm, erhalten durch Multiplikation des beobachteten Widerstandes mit $\frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$,

log $\sigma$ der Brigg'sche Logarithmus von $\sigma$,

$K = \frac{1}{\sigma}$ die spezifische Leitfähigkeit in $\frac{1}{\text{Ohm} \times \text{cm}}$.

Die drei letzten Rubriken der Tabellen sind die nach der Methode der kleinsten Quadrate nach der Formel von Rasch und Hinrichsen $\log W = \frac{\nu}{T} + C$ berechneten Werte. Sie stimmen mit den beobachteten Zahlen im Ganzen ziemlich gut überein. Systematische Abweichungen sind, wie die graphische Darstellung zeigt, nirgend zu erkennen.

Die Tabellen 1—11 geben die von mir angestellten Versuche wieder.

Die Tabellen 12—14 enthalten die Ergebnisse der Beetzschen Versuche nach Ersetzung der Quecksilbereinheiten durch Ohm $\times$ cm.

Die Tabellen 15—28 bringen dann die Resultate der Bolléschen Untersuchungen ebenfalls nach Reduktion der spezifischen Widerstände auf Ohm $\times$ cm.

In Tabelle 29 sind die von mir untersuchten Gläser nach steigenden Werten von C geordnet Augenscheinlich ist, daß im allgemeinen zu kleinen Werten C große Werte $\nu$ und umgekehrt gehören. Der Quarz macht hier jedoch eine deutliche Ausnahme.

In Tabelle 30 sind dann noch die chemischen Zusammensetzungen der Gläser in Prozenten angegeben, soweit sie bekannt sind.

Bei den graphischen Darstellungen sind die in den Tabellen angegebenen Werte $\frac{1}{T}$ als Abszisse und log W

als Ordinate in ein Koordinatensystem eingetragen; für die Abhängigkeit der beiden Größen erhält man dann eine Gerade. Die Abweichungen sind auf die bereits früher angegebenen Umstände zurückzuführen. Die gezeichnete Grade entspricht den rechnerisch gefundenen Werten. Bei Bollé sind es vor allem die bleihaltigen Gläser, die die starken Abweichungen aufweisen.

## Zusammenfassung.

Es sind für 11 vielbenutzte, darunter 8 Jenaer Gläser, die Konstanten der elektrischen Leitfähigkeit bestimmt worden; die chemische Zusammensetzung ist nur von zwei anzugeben.

Es ergab sich, daß für alle untersuchten Gläser das von Rasch und Hinrichsen aufgestellte Temperaturgesetz mit beträchtlicher Genauigkeit und innerhalb weiter Temperaturgrenzen Anwendung findet, daß also die Schaulinien für die Abhängigkeit des Ausdrucks log W und $\frac{1}{T}$ durch gerade Linien dargestellt werden und sich die spezifischen Widerstände der untersuchten Glassorten für jede Temperatur mit beträchtlicher Genauigkeit angeben lassen. Vielleicht läßt sich diese Eigenart des Quarzglases noch zur Messung hoher Temperaturen verwenden.

Ferner fand ich aufs neue den Bolléschen Satz bestätigt, daß die Gläser nach der Veränderung der Temperatur und dem kurzen Stromdurchgange — letzteres kann ich hinzusetzen — kaum irgend welche Veränderungen bezüglich ihrer Leitfähigkeit aufweisen.

Endlich ergab sich (Tabelle 29), daß bei vielen Gläsern die Werte der Konstanten $\nu$ um so größer ist, je kleiner C ist und umgekehrt.

Irgend welche andere Schlüsse inbetreff der elektrolytischen Leitfähigkeit und der chemischen Zusammensetzung der Gläser können nicht gezogen werden, da das Material hierzu noch nicht ausreicht.

## Tabelle 1. (Thüringer Glas)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{7}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{7}{10 . K}$ |
| 489 | 726 | 1,312 | 3290 | 3,033 | 3,4819 | 3,4805 | 3,024 | 3307 |
| 489 | 762 | 1,312 | 3193 | 3,127 | 3,4951 | 3,4805 | 3,024 | 3307 |
| 450 | 723 | 1,383 | 1519 | 6,581 | 3,8182 | 3,8187 | 6,587 | 1518 |
| 432 | 705 | 1,418 | 1034 | 9,662 | 3,9850 | 3,9874 | 9,715 | 1029 |
| 400 | 673 | 1,485 | 487,3 | 20,52 | 4,3121 | 4,3096 | 20,40 | 490,1 |
| 381 | 654 | 1,529 | 316,9 | 31,55 | 4,4990 | 4,5158 | 32,799 | 304,8 |
| 350 | 623 | 1,605 | 134,8 | 74,13 | 4,8700 | 4,8793 | 75,74 | 132 |
| 332 | 605 | 1,652 | 80,25 | 124,6 | 5,0936 | 5,1074 | 128,07 | 78 |
| 300 | 573 | 1,745 | 28,44 | 351,6 | 5,5461 | 5,5484 | 353,5 | 28,28 |
| 289 | 562 | 1,779 | 18,8 | 531,5 | 5,7255 | 5,7116 | 517,77 | 19 |
| 260 | 533 | 1,876 | 6,54 | 1529 | 6,1844 | 6,1741 | 1493 | 6,6 |
| 250 | 523 | 1,912 | 4,49 | 2223 | 6,3469 | 6,3455 | 2216,5 | 4,5 |

## Tabelle 2. (Kaliglas)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{10}{10 . K}$ | $\frac{-5}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-5}{10 . \sigma}$ | $\frac{10}{10 . K}$ |
| 650 | 923 | 1,083 | 837 | 11,936 | 6,0768 | 6,0061 | 10,14 | 986 |
| 625 | 898 | 1,113 | 806 | 12,4 | 6,0934 | 6,0931 | 12,39 | 807 |
| 602 | 875 | 1,142 | 701 | 14,206 | 6,1524 | 6,1776 | 15,05 | 664 |
| 574 | 847 | 1,180 | 516 | 19,35 | 6,2837 | 6,2865 | 19,34 | 517 |
| 550 | 823 | 1,215 | 470 | 21,275 | 6,3278 | 6,3858 | 24,31 | 411 |
| 526 | 799 | 1,251 | 294 | 34,0 | 6,5315 | 6,4911 | 30,98 | 322 |
| 500 | 773 | 1,293 | 244 | 40,84 | 6,6111 | 6,6125 | 40,96 | 244 |
| 475 | 748 | 1,336 | 183 | 54,63 | 6,7374 | 6,7372 | 54,60 | 183 |
| 444 | 717 | 1,394 | 144 | 69,003 | 6,8388 | 6,9039 | 80,15 | 124 |
| 400 | 673 | 1,485 | 53,4 | 187 | 7.2718 | 7,1668 | 146,8 | 68,1 |
| 350 | 623 | 1,605 | 30,8 | 324,2 | 7,5108 | 7,5108 | 324,2 | 30,8 |
| 300 | 573 | 1,745 | 12,1 | 821 | 7,9143 | 7,9147 | 821,7 | 12,1 |
| 254 | 527 | 1,897 | 4,45 | 2245 | 8,3512 | 8,3540 | 2260 | 4,42 |

## Tabelle 3. (Geräteglas).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{7}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{7}{10 . K}$ |
| 489 | 762 | 1,312 | 2175 | 4,597 | 3,6625 | 3,6533 | 4,501 | 2221 |
| 489 | 762 | 1,312 | 2085 | 4,794 | 3,6807 | 3,6533 | 4,501 | 2221 |
| 450 | 723 | 1,383 | 1146 | 8,725 | 3,9407 | 3,9496 | 8,904 | 1123 |
| 428 | 701 | 1,426 | 733,4 | 13,62 | 4,1333 | 4,1313 | 13,53 | 739 |
| 400 | 673 | 1,485 | 415,8 | 24,05 | 4,3811 | 4,3797 | 23,97 | 417 |
| 381 | 654 | 1,529 | 363,4 | 27,52 | 4,4396 | 4,5604 | 36,34 | 275 |
| 350 | 623 | 1,605 | 131,8 | 75,84 | 4,8799 | 4,8789 | 75,67 | 132 |
| 331 | 604 | 1,655 | 79,93 | 125,1 | 5,0972 | 5,0903 | 123,1 | 81 |
| 300 | 573 | 1,745 | 33,86 | 295,3 | 5,4703 | 5,4652 | 291.9 | 34 |
| 292 | 565 | 1,769 | 25,4 | 394 | 5,5955 | 5,5686 | 370,4 | 27 |
| 275 | 548 | 1,824 | 15,99 | 625,3 | 5,7961 | 5,7984 | 628,7 | 15,9 |
| 250 | 523 | 1,912 | 6,77 | 1475 | 6,1688 | 6,1636 | 1457 | 6,86 |
| 238 | 511 | 1,965 | 4,35 | 2298 | 6,3613 | 6,3515 | 2247 | 4,45 |

## Tabelle 4. (Glas 16 III).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{7}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{7}{10 . K}$ |
| 629 | 902 | 1,108 | 1475 | 6,778 | 3,8311 | 3,8326 | 6,802 | 1470 |
| 600 | 873 | 1,145 | 1178 | 8,485 | 3,9287 | 3,9580 | 9,078 | 1101 |
| 592 | 865 | 1,156 | 1086 | 9,207 | 3,9641 | 3,9941 | 9,864 | 1013 |
| 560 | 833 | 1,200 | 709 | 14.1 | 4,1492 | 4,1453 | 13,97 | 715,8 |
| 541 | 814 | 1,228 | 561 | 17.8 | 4,2504 | 4,2407 | 17,40 | 574,7 |
| 500 | 773 | 1,293 | 345 | 28,97 | 4,4619 | 4,4625 | 29,01 | 344,7 |
| 464 | 737 | 1,356 | 222 | 45.5 | 4,6580 | 4,6777 | 47,61 | 210 |
| 409 | 682 | 1,466 | 90.8 | 110,1 | 5,0418 | 5,0503 | 112,3 | 89 |
| 350 | 623 | 1,605 | 31,3 | 318,8 | 5,5035 | 5,5231 | 333,5 | 29,9 |
| 300 | 573 | 1,745 | 10,1 | 983.8 | 5,9929 | 5,9999 | 999,9 | 10 |
| 250 | 523 | 1,912 | 2,5 | 3855 | 6,5860 | 6,5681 | 3699 | 2,7 |

## Tabelle 5. (Glas 59 III)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{7}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{7}{10 . K}$ |
| 602 | 875 | 1,142 | 48540 | 0,206 | 2,3138 | 2,3243 | 0,210 | 47610 |
| 602 | 875 | 1,142 | 51020 | 0,196 | 2,2922 | 2,3243 | 0,210 | 47610 |
| 575 | 848 | 1,179 | 35840 | 0,279 | 2,4456 | 2,4457 | 0,279 | 35840 |
| 545 | 818 | 1,222 | 28570 | 0,350 | 0,5440 | 2,5899 | 0,389 | 25700 |
| 502 | 775 | 1,290 | 12610 | 0,793 | 2,8992 | 2,8162 | 0,655 | 15260 |
| 502 | 775 | 1,290 | 14380 | 0,695 | 2,8419 | 2,8162 | 0,655 | 15260 |
| 475 | 748 | 1,336 | 10630 | 0,94 | 2,9731 | 2,9715 | 0,937 | 10670 |
| 448 | 721 | 1,386 | 6710 | 1,49 | 3,1731 | 3,1384 | 1,375 | 7270 |
| 402 | 675 | 1,481 | 4008 | 2,495 | 3,3970 | 3,4537 | 2,842 | 3510 |
| 358 | 631 | 1,584 | 1256 | 7,96 | 3,9009 | 3,7982 | 6,284 | 1590 |
| 302 | 575 | 1,739 | 621 | 16.1 | 4,2068 | 4,3129 | 20,55 | 486 |
| 275 | 548 | 1,824 | 250 | 40,0 | 4,6020 | 4,5987 | 39,70 | 251 |
| 250 | 523 | 1,912 | 128,8 | 77,6 | 4,8898 | 4,8896 | 77,56 | 128,9 |
| 250 | 523 | 1,912 | 128,8 | 77,6 | 4,8898 | 4,8896 | 77,56 | 128,9 |
| 230 | 503 | 1,988 | 74 | 135 | 5,1303 | 4,1415 | 138,5 | 72,2 |
| 210 | 483 | 2,070 | 36,3 | 275 | 5,4393 | 5,4160 | 260,6 | 38,3 |
| 200 | 473 | 2,114 | 27,4 | 364 | 5,5611 | 5,5619 | 364,7 | 27,4 |
| 170 | 443 | 2,257 | 8,6 | 1150 | 6,0607 | 6,0412 | 1100 | 9,09 |
| 150 | 423 | 2,364 | 4,2 | 2380 | 6,3766 | 6,3971 | 2495 | 4,0 |
| 140 | 413 | 1,421 | 2,56 | 3900 | 6,5911 | 6,5880 | 3873 | 2,58 |
| 120 | 393 | 2,544 | 1,02 | 9800 | 6,9912 | 6,9989 | 9976 | 1,0 |

## Tabelle 6. (Uviolglas).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{8}{10 . K}$ | $\frac{-4}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-4}{10 . \sigma}$ | $\frac{8}{10 . K}$ |
| 600 | 873 | 1,145 | 17080 | 0,5854 | 3,7674 | 3,8632 | 0,7299 | 13700 |
| 584 | 857 | 1,166 | 8779 | 1,139 | 4,0565 | 4,0075 | 1,0173 | 9829 |
| 550 | 823 | 1,215 | 4640 | 2,155 | 4,3334 | 4,3524 | 2,150 | 4651 |
| 518 | 791 | 1,264 | 2288 | 4,369 | 4,6404 | 4,6638 | 4,611 | 2168 |
| 500 | 773 | 1,293 | 1376 | 7,263 | 4,8611 | 4,8623 | 7,283 | 1373 |
| 485 | 758 | 1,319 | 697,8 | 14,33 | 5,1562 | 5,0349 | 10,84 | 922,5 |
| 450 | 723 | 1,383 | 340 | 29,41 | 5,4685 | 5,4655 | 29,20 | 342,4 |
| 435 | 708 | 1,412 | 229,9 | 43,48 | 5,6383 | 5,6630 | 46,03 | 217,2 |
| 400 | 673 | 1,485 | 55,83 | 179,1 | 6,2531 | 6,1582 | 144,0 | 69,44 |
| 349 | 622 | 1,607 | 13,99 | 714,6 | 6,8541 | 6,9796 | 954,1 | 10,48 |
| 300 | 573 | 1,745 | 1,23 | 8083,0 | 7,9076 | 7, 065 | 8063,0 | 1,24 |
| 250 | 523 | 1,912 | 0,099 | 100100,00 | 9,0004 | 9,0313 | 107460,0 | 0,093 |

## Tabelle 7. (Verbrennungsglas).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{6}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{6}{10 . K}$ |
| 607 | 880 | 1,136 | 2624 | 0,381 | 2,5809 | 2,5261 | 0,336 | 2976 |
| 571 | 844 | 1,184 | 2309 | 0,433 | 2,6365 | 2,7147 | 0,518 | 1930 |
| 550 | 823 | 1,215 | 1472 | 0,679 | 2,8319 | 2,8324 | 0,680 | 1470 |
| 527 | 800 | 1,250 | 1061 | 0,942 | 2,9740 | 2,9684 | 0,930 | 1075 |
| 500 | 773 | 1,293 | 729,9 | 1,370 | 3,1367 | 3,1384 | 1,375 | 727 |
| 473 | 746 | 1,340 | 434,9 | 2,299 | 3,3615 | 3,3205 | 2,092 | 478 |
| 450 | 723 | 1,383 | 325 | 3,070 | 3,4871 | 3,4865 | 3,066 | 326 |
| 416 | 689 | 1,451 | 188,7 | 5,297 | 3,7240 | 3,7521 | 5,652 | 176 |
| 380 | 653 | 1,531 | 90,57 | 11,04 | 4,0429 | 4,0636 | 11,58 | 86,3 |
| 350 | 623 | 1,609 | 44,8 | 22,30 | 4,3483 | 4,3506 | 22,42 | 44,6 |
| 303 | 576 | 1,736 | 12,97 | 77,08 | 4,8869 | 4,8604 | 72,51 | 13,7 |
| 250 | 523 | 1,912 | 2,81 | 355,1 | 5,5503 | 5,5452 | 350,9 | 2,84 |

## Tabelle 8. (Verbundglas).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{6}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{6}{10 . K}$ |
| 603 | 876 | 1,141 | 6493 | 0,154 | 2,1875 | 2,2615 | 0,182 | 5494 |
| 603 | 876 | 1,141 | 4587 | 0,218 | 2,3384 | 2,2615 | 0,182 | 5494 |
| 550 | 823 | 1,215 | 2906 | 0,344 | 2,5365 | 2,5395 | 0,346 | 2890 |
| 503 | 776 | 1,288 | 1285 | 0,778 | 2,8909 | 2,8178 | 0,657 | 1522 |
| 475 | 748 | 1,336 | 1000 | 0,999 | 2,9996 | 3,0001 | 1,0 | 1000 |
| 447 | 720 | 1,388 | 619 | 1,613 | 3,2076 | 3,1967 | 1,573 | 635 |
| 403 | 676 | 1,479 | 232 | 4,300 | 3,6335 | 3,5385 | 3,46 | 289 |
| 362 | 635 | 1,574 | 126 | 7,931 | 3,8993 | 3,8996 | 7,926 | 126 |
| 340 | 613 | 1,631 | 75,47 | 13,25 | 4,1222 | 4,1133 | 12,98 | 77 |
| 302 | 575 | 1,739 | 31,12 | 32,13 | 4,5069 | 4,5209 | 33,18 | 3 0,13 |
| 275 | 548 | 1,824 | 14,38 | 69,52 | 4,8421 | 4,8448 | 69,96 | 14,29 |
| 252 | 525 | 1,904 | 7,06 | 141,6 | 5,1511 | 5,1471 | 140,3 | 7,12 |

## Tabelle 9. (Glas 397 III).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{7}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{7}{10 . K}$ |
| 490 | 763 | 1,310 | 9099 | 1,099 | 3.0409 | 3,0228 | 1,054 | 9487 |
| 488 | 761 | 1,314 | 8764 | 1,141 | 3,0573 | 3,0384 | 1,092 | 9153 |
| 450 | 723 | 1,383 | 4454 | 2,245 | 3,3512 | 3,3505 | 2,241 | 4461 |
| 418 | 691 | 1,447 | 2253 | 4,438 | 3,6472 | 3,6400 | 4,365 | 2290 |
| 400 | 673 | 1,485 | 1528 | 6,544 | 3,8158 | 3,8149 | 6,53 | 1531 |
| 381 | 654 | 1,528 | 1030 | 9,700 | 3,9867 | 4,0100 | 10,234 | 977 |
| 380 | 653 | 1,531 | 984,1 | 10,06 | 4,0025 | 4,0206 | 10,486 | 953 |
| 350 | 623 | 1,605 | 447,6 | 22,34 | 4,3491 | 4,3538 | 22,59 | 442 |
| 327 | 600 | 1,666 | 216,9 | 46,96 | 4,6717 | 4,6319 | 42,77 | 233 |
| 300 | 573 | 1,745 | 102,9 | 97,14 | 4,9874 | 4,9869 | 97,18 | 102 |
| 293 | 566 | 1,766 | 74,7 | 133,8 | 5,1264 | 5,0844 | 121,5 | 82 |
| 250 | 523 | 1,912 | 18,29 | 546,5 | 5,7376 | 5,7408 | 550,6 | 18,16 |
| 239 | 512 | 1,953 | 12.12 | 825 | 5,9164 | 5,9265 | 844,3 | 11,84 |

## Tabelle 10. (Duraxglas).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{6}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{6}{10 . K}$ |
| 600 | 873 | 1,145 | 2531 | 0,395 | 2,5966 | 2,5611 | 0,364 | 2747 |
| 600 | 873 | 1,145 | 2680 | 0,373 | 2,5715 | 2,5611 | 0,364 | 2747 |
| 569 | 842 | 1,187 | 2145 | 0,466 | 2,6684 | 2,7260 | 0,532 | 1879 |
| 500 | 773 | 1,293 | 717,8 | 1,393 | 3,1439 | 3,1406 | 1,382 | 723,5 |
| 494 | 767 | 1,303 | 592 | 1,688 | 3,2274 | 3,1802 | 1,514 | 660 |
| 455 | 728 | 1,373 | 345 | 2,899 | 3,4622 | 3,4534 | 2,841 | 351 |
| 396 | 669 | 1,494 | 155 | 6,426 | 3,8079 | 3,9272 | 8,457 | 118 |
| 340 | 613 | 1,631 | 32,6 | 30,66 | 4,4866 | 4,4613 | 28,93 | 34,5 |
| 300 | 573 | 1,745 | 10,9 | 91 | 4,9590 | 4,9067 | 80,67 | 12,4 |
| 275 | 548 | 1,824 | 6,8 | 164,4 | 5,2159 | 5,2181 | 165,2 | 6,05 |
| 250 | 523 | 1,912 | 2,75 | 362,8 | 5,5597 | 5,5593 | 362,5 | 2,75 |

## Tabelle 11. (Quarzglas).

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{9}{10 . K}$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-3}{10 . \sigma}$ | $\frac{9}{10 . K}$ |
| 659 | 932 | 1,072 | 510,4 | 1,959 | 6,2920 | 6,2751 | 1,884 | 530,7 |
| 624 | 897 | 1,114 | 365,6 | 2,979 | 6,4740 | 6,4652 | 2,919 | 342,5 |
| 600 | 873 | 1,145 | 248 | 4,031 | 6,6054 | 6,6044 | 4;021 | 248,6 |
| 570 | 843 | 1,186 | 166 | 6,020 | 6,7796 | 6,7895 | 6,159 | 162,3 |
| 560 | 833 | 1,200 | 140 | 7,14 | 6,8537 | 6,8541 | 7,147 | 139,1 |
| 545 | 818 | 1,222 | 116 | 8,613 | 6,9351 | 6,9341 | 8,997 | 111,1 |
| 518 | 791 | 1,264 | 81,6 | 12,25 | 7,0882 | 7,1436 | 13,92 | 71,83 |
| 500 | 773 | 1,293 | 63,13 | 15,84 | 7,1997 | 7,2073 | 16,12 | 62,03 |
| 492 | 765 | 1,307 | 43,9 | 22,74 | 7,3567 | 7,3487 | 22,32 | 45,80 |
| 475 | 748 | 1,336 | 33,78 | 29,60 | 7,4713 | 7,4736 | 29,76 | 33,60 |
| 460 | 733 | 1,364 | 22,8 | 43,70 | 7,6405 | 7,5978 | 39,61 | 25,24 |
| 460 | 733 | 1,364 | 22,8 | 43,70 | 7,6405 | 7,5978 | 39,61 | 25,24 |
| 452 | 725 | 1,379 | 21,83 | 45,80 | 7,6609 | 7,6662 | 46,37 | 21,56 |
| 425 | 698 | 1,432 | 12,30 | 81,30 | 7,9101 | 7,9085 | 81,0 | 12,34 |
| 401 | 674 | 1,483 | 7,315 | 136,7 | 8,1358 | 8,1401 | 138.1 | 7,241 |
| 374 | 647 | 1,545 | 3,802 | 263 | 8,4199 | 8,4213 | 263,8 | 3,79 |
| 349 | 622 | 1,607 | 1,996 | 501 | 8,6998 | 8,7034 | 505,1 | 1,979 |
| 326 | 599 | 1,669 | 1,038 | 963 | 8,9836 | 8,9837 | 963,2 | 1,038 |
| 298 | 571 | 1,751 | 0,434 | 2300 | 9,3617 | 9,3555 | 2267 | 0,441 |
| 275 | 548 | 1,824 | 0,209 | 4780 | 9,6794 | 9,6892 | 4889 | 0,204 |
| 264 | 537 | 1,862 | 0,137 | 7251 | 9,8604 | 9 8590 | 7228 | 0,138 |

## Tabelle 12. (Weißes Glas, nach Beetz.)

| Beobachtet. | | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t°$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{7}{10 . K}$ | $\frac{-5}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-5}{10 . \sigma}$ | $\frac{7}{10 . K}$ |
| 189 | 462 | 2,164 | 0,583 | 1714 | 8,2310 | 8,2668 | 1848 | 0,541 |
| 195 | 468 | 2,136 | 0,728 | 1371 | 8,1371 | 8,1212 | 1322 | 0,756 |
| 200 | 473 | 2,114 | 0,971 | 1029 | 8,0122 | 8,0208 | 1049 | 0,953 |
| 208 | 481 | 2,079 | 1,45 | 685,7 | 7,8361 | 7,8490 | 706,3 | 1,41 |
| 214 | 487 | 2,053 | 1,94 | 514,2 | 7,7111 | 7,7239 | 529,7 | 1,88 |
| 223 | 496 | 2,016 | 2,91 | 342,8 | 7,5350 | 7,5399 | 346,7 | 2,88 |
| 228,5 | 501,5 | 1,994 | 3,88 | 257,1 | 7,4101 | 7,4339 | 271,6 | 3,68 |
| 238,5 | 511,5 | 1,955 | 5,83 | 171,4 | 7,2340 | 7,2434 | 175,1 | 5,71 |
| 247 | 520 | 1,923 | 8,33 | 120 | 7,0791 | 7,0873 | 122,3 | 8,17 |
| 255,5 | 228,5 | 1,892 | 11,6 | 85,71 | 6,9330 | 6,9362 | 86,34 | 11,5 |
| 269 | 542 | 1,845 | 19,4 | 51,42 | 6,7111 | 6,7070 | 50,94 | 19,5 |
| 278 | 551 | 1,814 | 29,1 | 34,30 | 6,5353 | 6,5587 | 36,20 | 27,6 |
| 287 | 560 | 1,785 | 38,9 | 25,7 | 6,4101 | 6,4162 | 25,4 | 39,3 |
| 299 | 572 | 1,748 | 58,4 | 17,1 | 6,2340 | 6,2332 | 17,1 | 58,4 |
| 306,5 | 579,5 | 1,725 | 71,9 | 13,9 | 6,1425 | 6,1227 | 13,3 | 75,1 |
| 310,8 | 583,8 | 1,712 | 83,3 | 12 | 6,0791 | 6,0605 | 11,5 | 86,9 |
| 316,5 | 589,5 | 1,696 | 98 | 10,2 | 6,0122 | 5,9797 | 9,54 | 104,8 |
| 322,5 | 595,5 | 1,679 | 116,6 | 8,57 | 5,9330 | 5,8961 | 7,91 | 126,4 |
| 329 | 602 | 1,661 | 145,9 | 6,85 | 5,8361 | 5,8075 | 6,42 | 155,7 |
| 340 | 613 | 1,631 | 194,5 | 5,14 | 5,7111 | 5,6620 | 4,59 | 217,8 |
| 349 | 622 | 1,607 | 291,5 | 3,43 | 5,5350 | 5,5466 | 3,52 | 284 |

## Tabelle 13. (Grünes Glas, nach Beetz).

| Beobachtet. | | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t°$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ | $\frac{-5}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-5}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ |
| 170,5 | 443,5 | 2,254 | 6,13 | 1629 | 8,2120 | 8,1461 | 1400 | 7,14 |
| 176 | 449 | 2,227 | 8,77 | 1140 | 8,0570 | 8,0167 | 1040 | 9,61 |
| 180,4 | 453,4 | 2,205 | 12,28 | 814 | 7,9110 | 7,9154 | 823 | 12,15 |
| 190 | 463 | 2,159 | 20,44 | 489 | 7,6891 | 7,7011 | 502 | 19,92 |
| 198,8 | 471,8 | 2,119 | 30,67 | 326 | 7,5130 | 7,5124 | 325 | 30,76 |
| 204 | 477 | 2,096 | 41,32 | 242 | 7,3881 | 7,4041 | 253 | 39,52 |
| 211 | 484 | 2,066 | 61,34 | 163 | 7,2120 | 7,2620 | 182 | 54,94 |
| 216,5 | 489,5 | 2,042 | 82,64 | 121 | 7,0824 | 7,1532 | 147 | 70,42 |
| 222,5 | 495,5 | 2,018 | 102,24 | 97,8 | 6,9902 | 7,0373 | 109 | 91,74 |
| 232,5 | 505,5 | 1,978 | 153 | 65,18 | 6,8141 | 6,8503 | 70,84 | 141 |
| 250,5 | 523,5 | 1,910 | 306 | 32,59 | 6,5130 | 6,5315 | 34 | 294 |
| 256,5 | 529,5 | 1,888 | 409 | 24,44 | 6,3881 | 6,4301 | 26,92 | 371 |
| 266,5 | 539,5 | 1,853 | 613 | 16,30 | 6.2120 | 6,2661 | 18,46 | 541 |
| 287 | 560 | 1,785 | 1204 | 8.30 | 5,911 0 | 5,9482 | 8,87 | 1126 |
| 305,5 | 578,5 | 1,728 | 2044 | 4,89 | 5,6891 | 5,6806 | 4,793 | 2086 |
| 316 | 589 | 1,697 | 3067 | 3,26 | 5,5130 | 5,5362 | 3,43 | 2910 |
| 327,5 | 600,5 | 1,665 | 4091 | 2,44 | 5,3881 | 5,3838 | 2,42 | 4132 |
| 343 | 616 | 1,623 | 6135 | 1,63 | 5,2120 | 5,1875 | 1,54 | 6493 |

**Tabelle 14.** (Bleiglas, nach Beetz).

| Beobachtet. | | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{9}{10 \cdot K}$ | $\frac{-5}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-5}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{9}{10 \cdot K}$ |
| 216 | 489 | 2,044 | 0,563 | 1774 | 8,2490 | 8,1987 | 1580 | 0,632 |
| 220 | 493 | 2,028 | 0,704 | 1420 | 8,1521 | 8,1153 | 1304 | 0,766 |
| 226 | 499 | 2,004 | 0,956 | 1064 | 8,0271 | 7,9928 | 983,6 | 1,016 |
| 229 | 502 | 1,992 | 1,12 | 887,2 | 7,9480 | 7,9326 | 856,3 | 1,16 |
| 234 | 507 | 1,972 | 1,409 | 709,7 | 7,8511 | 7,8339 | 682,2 | 1,465 |
| 239 | 512 | 1,953 | 1,878 | 532,3 | 7,7261 | 7,7372 | 546 | 1,831 |
| 249 | 522 | 1,915 | 2,818 | 354,8 | 7,5500 | 7,5492 | 354,2 | 2,823 |
| 258 | 531 | 1,883 | 3,757 | 266,1 | 7,4251 | 7,3861 | 243,3 | 4,11 |
| 269 | 542 | 1,845 | 5,636 | 177,4 | 7,2490 | 7,1941 | 156,4 | 6,406 |
| 277,5 | 550,5 | 1,816 | 7,047 | 141,9 | 7,1521 | 7,0510 | 112,5 | 8,88 |
| 286 | 559 | 1,788 | 9,398 | 106,4 | 7,0271 | 6,9122 | 81,7 | 12,23 |
| 291 | 564 | 1,773 | 11,27 | 88,71 | 6,9480 | 6,8326 | 68,02 | 14,70 |
| 297 | 570 | 1,754 | 14,09 | 70,97 | 6,8511 | 6,7388 | 54,81 | 18,24 |
| 303 | 576 | 1,736 | 18,78 | 53,22 | 6,7261 | 6,6470 | 44,37 | 22,53 |
| 312 | 585 | 1,709 | 28,18 | 35,48 | 6,5500 | 6,5129 | 32,58 | 30,69 |
| 326 | 599 | 1,669 | 56,36 | 17,74 | 6,2489 | 6,3122 | 20,52 | 48,73 |
| 341 | 614 | 1,628 | 112,7 | 8,871 | 5,9480 | 6,1073 | 12,8 | 78,12 |

## Tabelle 15. (Glas a, nach Bollé).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ | $\frac{-5}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-5}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 1,32 | 7525 | 8,8765 | 8,9331 | 8573 | 1,16 |
| 125 | 398 | 2,512 | 4,62 | 2164 | 8,3352 | 8,2331 | 1710 | 5,84 |
| 150 | 423 | 2,364 | 26,5 | 376,3 | 7,5755 | 7,6158 | 412,9 | 24,2 |
| 175 | 448 | 2,232 | 87 | 114,8 | 7,0598 | 7,0673 | 116,8 | 85,6 |
| 200 | 473 | 2,114 | 263 | 37,92 | 6,5788 | 6,5769 | 37,75 | 264 |

## Tabelle 16. (Glas b).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ | $\frac{-6}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-6}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 1,03 | 969 | 8,9863 | 9,0027 | 1006 | 0,994 |
| 125 | 398 | 2,512 | 4,56 | 219 | 8,3408 | 8,3371 | 217,3 | 4,60 |
| 150 | 423 | 2,364 | 16,92 | 59,07 | 7,7714 | 7,7501 | 56,25 | 17,77 |
| 175 | 448 | 2,232 | 58,54 | 17,08 | 7,2335 | 7,2287 | 16,55 | 60,4 |
| 200 | 473 | 2,114 | 178 | 5,60 | 6,7487 | 6,7624 | 5,78 | 173 |

## Tabelle 17. (Glas c).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ | $\frac{-6}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-6}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{10}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,542 | 1844 | 9,2657 | 9,2530 | 1791 | 0,558 |
| 120 | 398 | 2,512 | 3,02 | 330,3 | 8,5188 | 8,5224 | 333 | 3 |
| 150 | 423 | 2,364 | 14 | 71,02 | 7,8514 | 7,8781 | 75,53 | 13,2 |
| 175 | 448 | 2,232 | 47,4 | 21,07 | 7,3237 | 7,2058 | 16,06 | 62.2 |

## Tabelle 18. (Glas d).

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{12}{10 \cdot K}$ | $\frac{-8}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-8}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{12}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,395 | 2531 | 11,4033 | 11,4910 | 3097 | 0,322 |
| 125 | 398 | 2,512 | 1,23 | 810 | 10,9086 | 10,8544 | 715 | 1,39 |
| 150 | 423 | 2,364 | 3,98 | 251 | 10,4001 | 10,2930 | 196 | 5,10 |
| 175 | 448 | 2,232 | 19,8 | 50,5 | 9,7035 | 9,7942 | 62,4 | 16 |

## Tabelle 19. (Glas e.)

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{13}{10 \cdot K}$ | $\frac{-9}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-9}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{13}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,406 | 2461 | 12,3918 | 12,4242 | 2656 | 0,376 |
| 125 | 398 | 2,512 | 1,79 | 556 | 11,7451 | 11,6945 | 495 | 2,02 |
| 150 | 423 | 2,364 | 9,09 | 110 | 11,0417 | 11,0511 | 112 | 8,92 |
| 175 | 448 | 2.232 | 33,8 | 29,54 | 10,4704 | 10,4794 | 30 | 33,3 |

## Tabelle 20. (Glas f.)

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 \cdot K}$ | $\frac{-9}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-9}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{14}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 1,32 | 7555 | 12,8782 | 12,9510 | 8933 | 1,119 |
| 125 | 398 | 2,512 | 6,72 | 1489 | 12,1721 | 12,0937 | 1240 | 8,06 |
| 150 | 423 | 2,364 | 42.5 | 235 | 11,3714 | 11,3427 | 220 | 45,0 |
| 175 | 448 | 2,232 | 232 | 43,08 | 10,6343 | 10,6757 | 47.39 | 211 |

## Tabelle 21. (Glas g.)

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 \cdot K}$ | $\frac{-9}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-9}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{13}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,503 | 1985 | 12,2978 | 12,6076 | 4051 | 0,246 |
| 125 | 398 | 2,512 | 1,04 | 959 | 11,9821 | 11,8159 | 654 | 1.52 |
| 150 | 423 | 2,364 | 4,13 | 242 | 11,3851 | 11,1178 | 131 | 7,63 |
| 175 | 448 | 2,232 | 26,1 | 38,2 | 10,5820 | 10,4976 | 31,4 | 31,8 |
| 200 | 473 | 2,114 | 186 | 5,35 | 9,7286 | 9,9430 | 8,97 | 111,4 |

## Tabelle 22. (Glas h.)

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 \cdot K}$ | $\frac{-10}{10 \cdot \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-10}{10 \cdot \sigma}$ | $\frac{14}{10 \cdot K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,542 | 1844 | 13,2658 | 13,4211 | 2637 | 0,379 |
| 125 | 398 | 2,512 | 4,18 | 239 | 12,3783 | 12,3798 | 239,8 | 4,17 |
| 150 | 423 | 2,364 | 22,1 | 45,1 | 11,6547 | 11,5497 | 35,4 | 28,2 |
| 175 | 448 | 2,232 | 157 | 6,34 | 10,8022 | 10,8123 | 6,49 | 154 |
| 200 | 473 | 2,114 | 769 | 1.30 | 10,1134 | 10,1528 | 1,42 | 704 |

## Tabelle 23. (Glas i.)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{15}{10 . K}$ | $\frac{-10}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-10}{10 . \sigma}$ | $\frac{15}{10 . K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 2,5 | 3885 | 13,5894 | 13,6988 | 4998 | 2,0 |
| 135 | 398 | 2,512 | 15 | 664 | 12,8223 | 12,7850 | 610 | 16,3 |
| 150 | 423 | 2,364 | 68,4 | 146 | 12,1666 | 11.9793 | 95 | 105 |
| 175 | 448 | 2,232 | 668 | 14,96 | 11,1749 | 11,2634 | 18,34 | 545 |
| 200 | 473 | 2,114 | 2544 | 3,93 | 10,5947 | 10,6233 | 4,10 | 2380 |

## Tabelle 24. (Glas k.)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 . K}$ | $\frac{-9}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-9}{10 . \sigma}$ | $\frac{14}{10 . K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 1,2 | 8280 | 12,9180 | 12,9633 | 9190 | 1,08 |
| 125 | 398 | 2,512 | 7,03 | 1421 | 12,1525 | 12,1430 | 1390 | 7,19 |
| 150 | 423 | 2,364 | 33,4 | 299 | 11,4759 | 11,4197 | 263 | 38 |
| 175 | 448 | 2,232 | 159 | 62,75 | 10,7976 | 10,7771 | 59,86 | 167 |
| 200 | 473 | 2,114 | 690 | 14,49 | 10,1610 | 10,2025 | 15,94 | 627 |

## Tabelle 25. (Glas l)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 . K}$ | $\frac{-9}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-9}{10 . \sigma}$ | $\frac{14}{10 . K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 1,90 | 5250 | 12,7201 | 12,9488 | 8888 | 1,12 |
| 125 | 398 | 2,512 | 4.16 | 2400 | 12.3817 | 12,3283 | 2130 | 4,69 |
| 150 | 423 | 2,364 | 9,68 | 1033 | 12,0149 | 11,7444 | 555 | 18 |
| 175 | 448 | 2,232 | 50,76 | 197 | 11,2957 | 11,2434 | 175 | 57,1 |
| 200 | 473 | 2,114 | 238 | 41,86 | 10,6218 | 11,7953 | 62,42 | 160 |

## Tabelle 26. (Glas m.)

| | Beobachtet. | | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t^0$ | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 . K}$ | $\frac{-9}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-9}{10 . \sigma}$ | $\frac{14}{10 . K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 1,32 | 7520 | 12,8760 | 13,0410 | 10990 | 0,909 |
| 125 | 398 | 2,512 | 3.32 | 3010 | 12,4786 | 12,4038 | 2534 | 3,94 |
| 150 | 423 | 2,364 | 10 | 997 | 11,9988 | 11,8419 | 695 | 14,3 |
| 175 | 448 | 2,232 | 41,1 | 243 | 11,3967 | 11,3427 | 220 | 45,4 |
| 200 | 473 | 2,114 | 168 | 52,2 | 10,7721 | 10,8963 | 78,7 | 127 |

## Tabelle 27. (Glas n.)

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 . K}$ | $\frac{-10}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-10}{10 . \sigma}$ | $\frac{14}{10 . K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,256 | 3904 | 13,5915 | 13,5607 | 3637 | 0,274 |
| 125 | 398 | 2,512 | 1,34 | 742 | 12,8705 | 12,9387 | 868,4 | 1,151 |
| 150 | 423 | 2,364 | 4,06 | 246 | 12,3918 | 12,3894 | 245,1 | 4,079 |
| 175 | 448 | 2,232 | 10,6 | 93,6 | 11,9713 | 11,9014 | 79,69 | 12,54 |
| 200 | 473 | 2,114 | 37,4 | 26,7 | 11,4268 | 11,4650 | 29,16 | 34,29 |

## Tabelle 28. (Glas o.)

| | | Beobachtet. | | | | Berechnet. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t° | T | $\frac{10^3}{T}$ | $\frac{14}{10 . K}$ | $\frac{-10}{10 . \sigma}$ | log $\sigma$ | log $\sigma$ | $\frac{-10}{10 . \sigma}$ | $\frac{14}{10 . K}$ |
| 100 | 373 | 2,689 | 0,233 | 4290 | 13,6324 | 13,6509 | 4476 | 0,223 |
| 125 | 398 | 2,512 | 0,994 | 1006 | 13,0028 | 12,9910 | 979,5 | 1,02 |
| 150 | 423 | 2,364 | 3,9 | 255,9 | 12,4080 | 12,4108 | 257,5 | 3,88 |
| 175 | 448 | 2 232 | 11,6 | 85,6 | 11,9325 | 11,8945 | 78,44 | 12,7 |
| 200 | 473 | 2,114 | 39,3 | 25,4 | 11,4048 | 11,4328 | 27,09 | 36,9 |

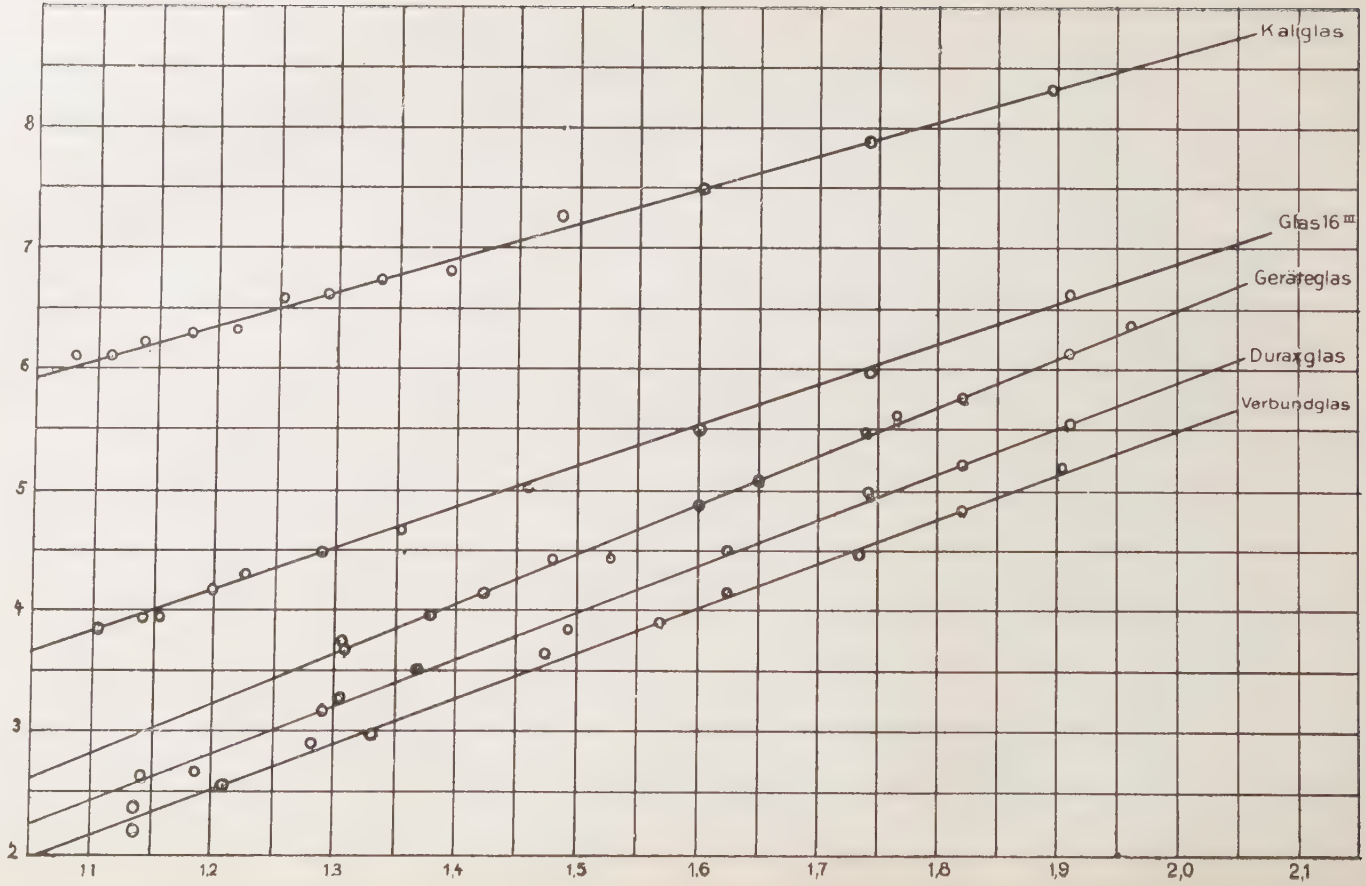
## Tabelle 29.

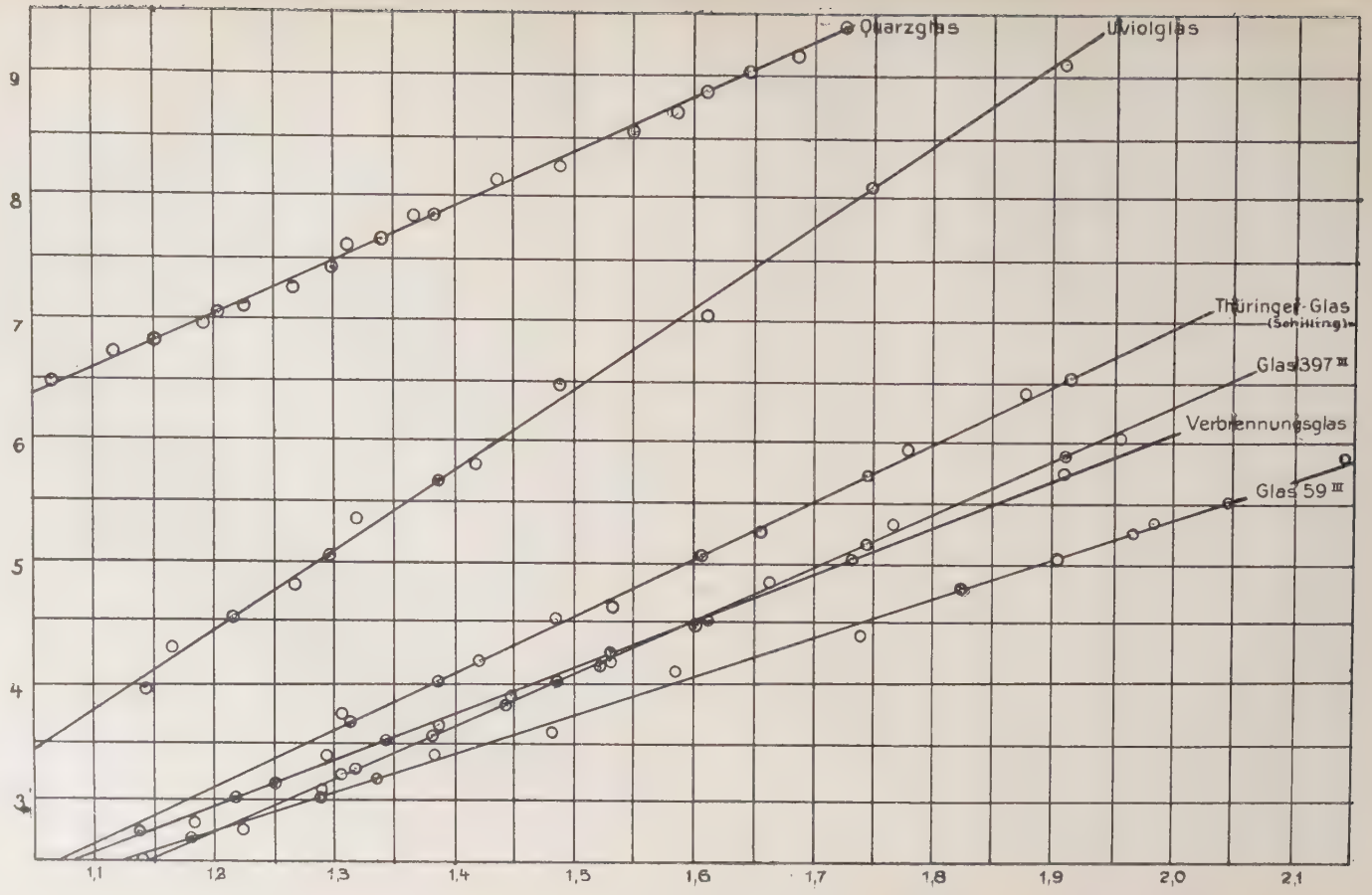
| Bezeichnung des Glases | C | $\nu$ |
|---|---|---|
| Uviolglas | — 3,8593 | 6742 |
| 397 III | — 2,9001 | 4519 |
| Thüringerglas | — 2,7886 | 4777 |
| Verbundglas | — 2,5044 | 3781 |
| Duraxglas | — 1,9191 | 3911 |
| Verbrennungsglas | — 1,8969 | 3892 |
| Geräteglas | — 1,8399 | 4116 |
| 59 III | — 1,4870 | 3335 |
| 16 III | + 0,0578 | 3405 |
| Kaliglas | + 2,8816 | 2884 |
| Quarz (amorph) | + 1,4028 | 4541 |

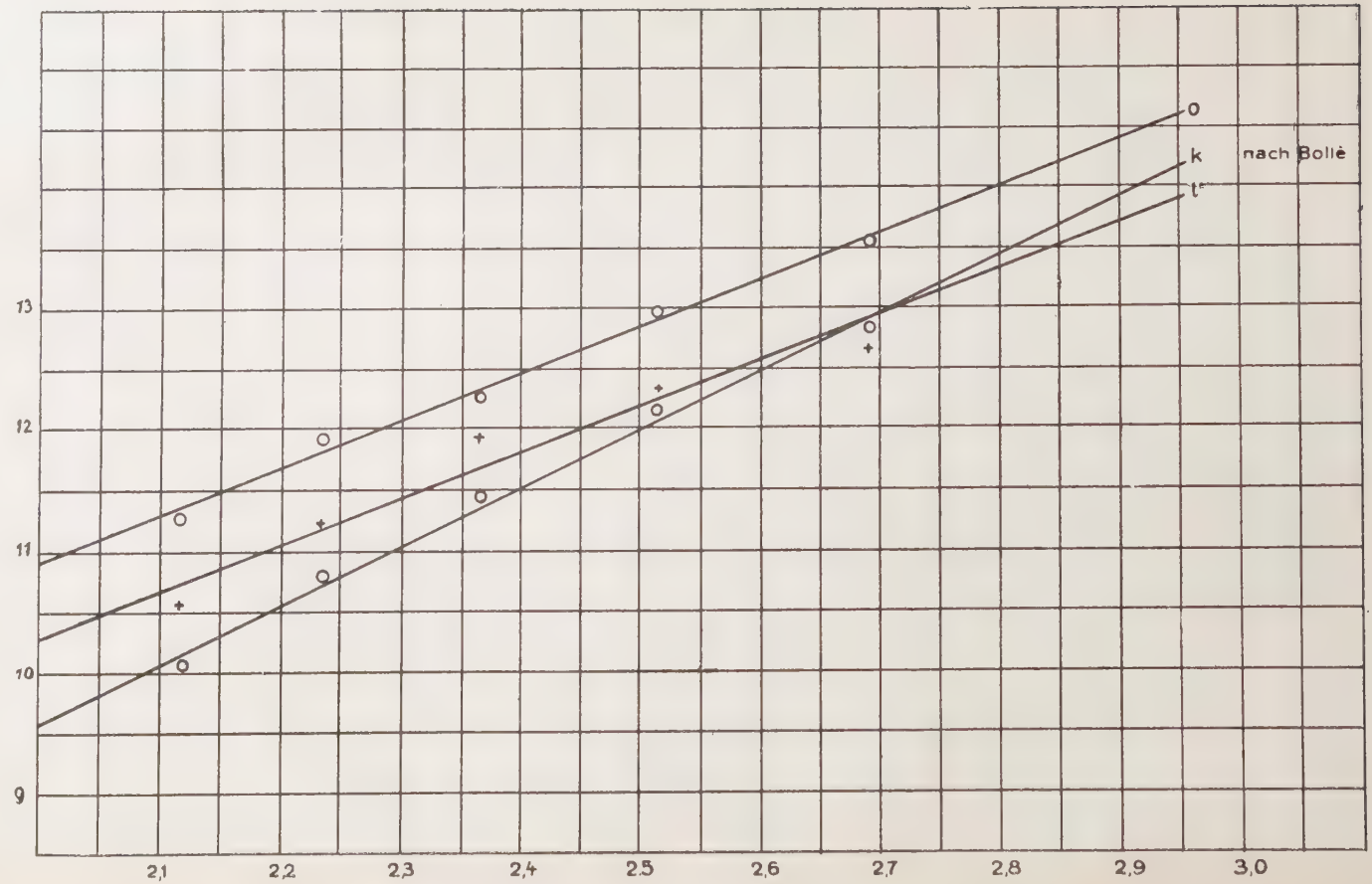
## Tabelle 30.

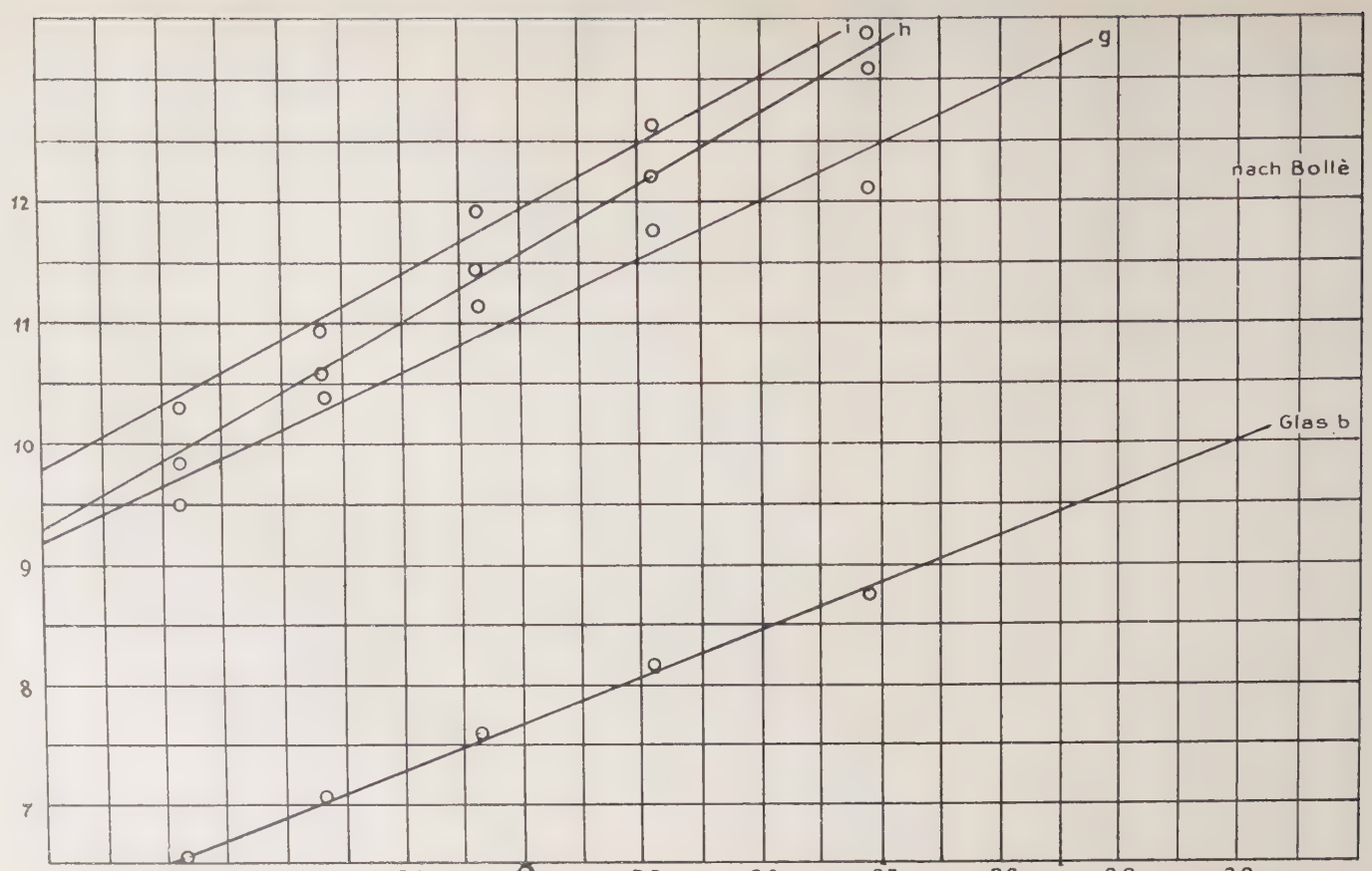
## Chemische Zusammensetzung der Gläser in Prozenten.

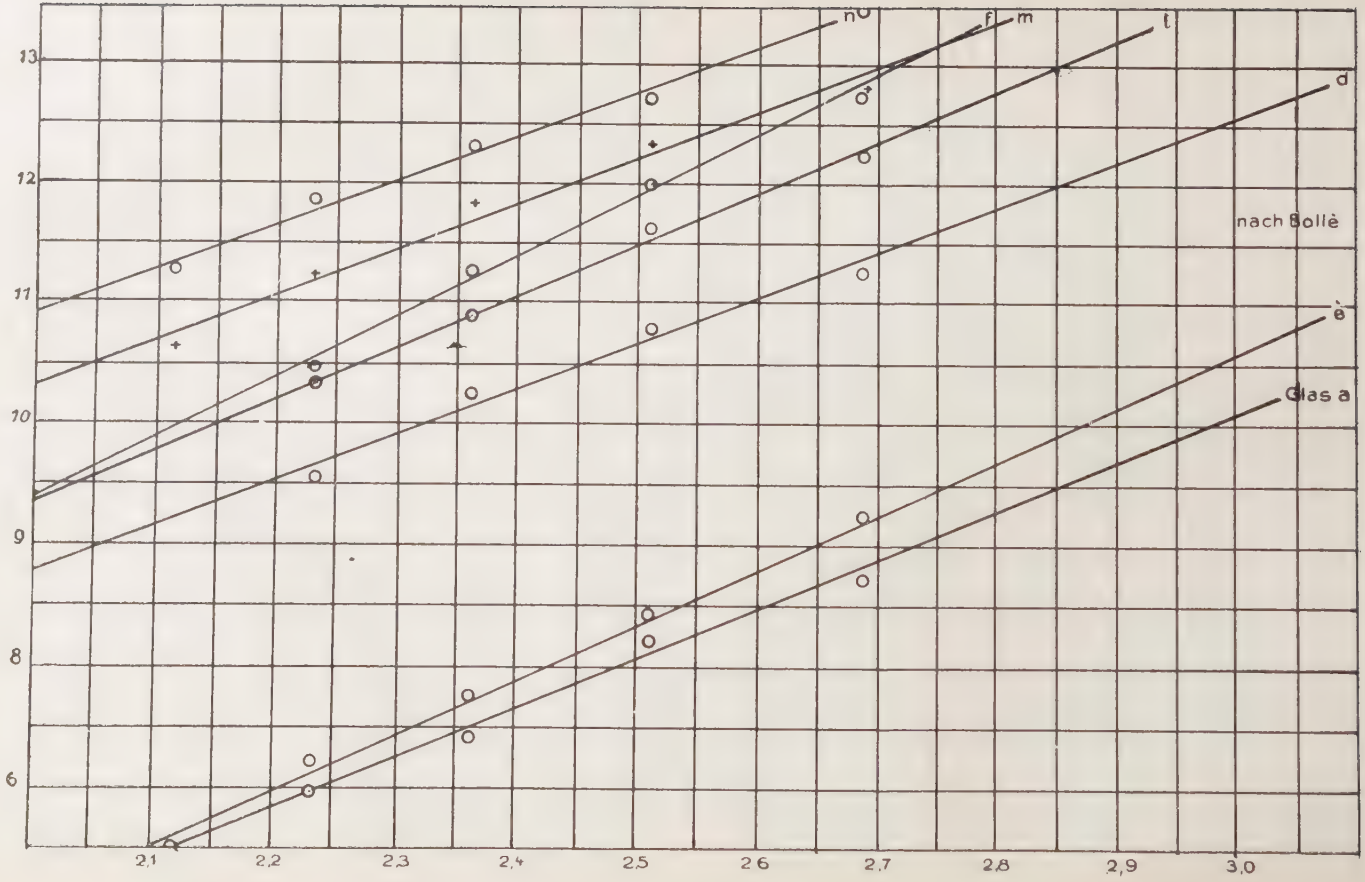
| Glas | $Na_2O$ | $K_2O$ | CaO | BaO | ZnO | PbO | $Al_2O_3$ | $B_2O_3$ | $Mn_2O_3$ | $As_2O_5$ | $SiO_2$ | MgO | $Fe_2O_3$ | $n_r$ | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bollé a | 16,8 | | | | 4,5 | 6,6 | 1,5 | | 0,1 | 0,5 | 70 | 1,0 | | 4157 | —2,2120 |
| b | 16,8 | | | | 5,8 | 8,1 | 1,0 | | 0,1 | 0,3 | 67,9 | 1,0 | | 3953 | —1,5941 |
| c | 17,0 | | | 5,0 | 5,3 | 2,6 | | | 0,06 | 0,4 | 69,64 | 1,0 | | 4339 | —2,3784 |
| d | 5,0 | 15,0 | | | 13,5 | | | 2,5 | 0,04 | 0,3 | 70,37 | 1,0 | | 3781 | 1,3559 |
| e | 6,0 | 16,0 | 4,5 | | | 2,9 | | 2,6 | 0,08 | 0,3 | 67,62 | 1,0 | | 4333 | 0,8077 |
| f | 5,0 | 15,0 | | 10,0 | 2,0 | | | 2,7 | 0,08 | 0,5 | 64,72 | 1,0 | | 5056 | —0,6102 |
| g | 6,0 | 12,0 | | | | $Pb_3O_4$ 19,9 | | | 0,13 | 0,3 | 60,67 | 1,0 | | 4701 | 0,0039 |
| h | 4,5 | 8,5 | | | | 23,9 | | | 0,06 | 0,3 | 62,74 | 1,0 | | 5590 | —1,6648 |
| i | 4,5 | 8,0 | | | | 35,1 | | | 0,1 | 0,2 | 52,1 | 1,0 | | 5426 | —0,9483 |
| k | 5,3 | 14,5 | 2,0 | | | | | 8,00 | 0,05 | 1,5 | 63,67 | 1,0 | | 4871 | —0,0954 |
| l | 1,5 | 11,0 | | 15,0 | 8,2 | 7,7 | | | 0,04 | 0,4 | 56,16 | 1,0 | | 3798 | 2,7664 |
| m | 4,00 | 15,0 | | 13,5 | 2,00 | | | 4,00 | 0,08 | 0,4 | 61,02 | 1,0 | | 3784 | 2,8966 |
| n | | | | 42,1 | 9,2 | | 2,5 | 6,00 | 0,07 | 0,5 | 39,63 | 1,0 | | 3699 | 3,6448 |
| o | 0,50 | 8,00 | | | | 46,2 | | | 0,02 | 0,3 | 44,98 | 1,0 | | 3913 | 3,1592 |
| Beetz I | 9,48 | 3,60 | 16,0 | | | | 2,25 | | | | 67,80 | 0,35 | 0,52 | 4885 | —2,3079 |
| II | 8,68 | 6,53 | 12,55 | | | | 2,48 | | | | 68,02 | 0,55 | 1,19 | 4686 | —2,4190 |
| III | | 4 | | | | 67-68 | | | | | 28 | | | 5023 | —2,0740 |
| $16^{III}$ | 14,5 | | 7 | | 7 | | 2,5 | 2 | $MnO_2$ 0,1 | | 66,9 | | | 3405 | +0,0578 |
| $59^{III}$ | 11 | | | | | | 5 | 12 | 0,05 | | 71,95 | | | 3335 | 1,4870 |

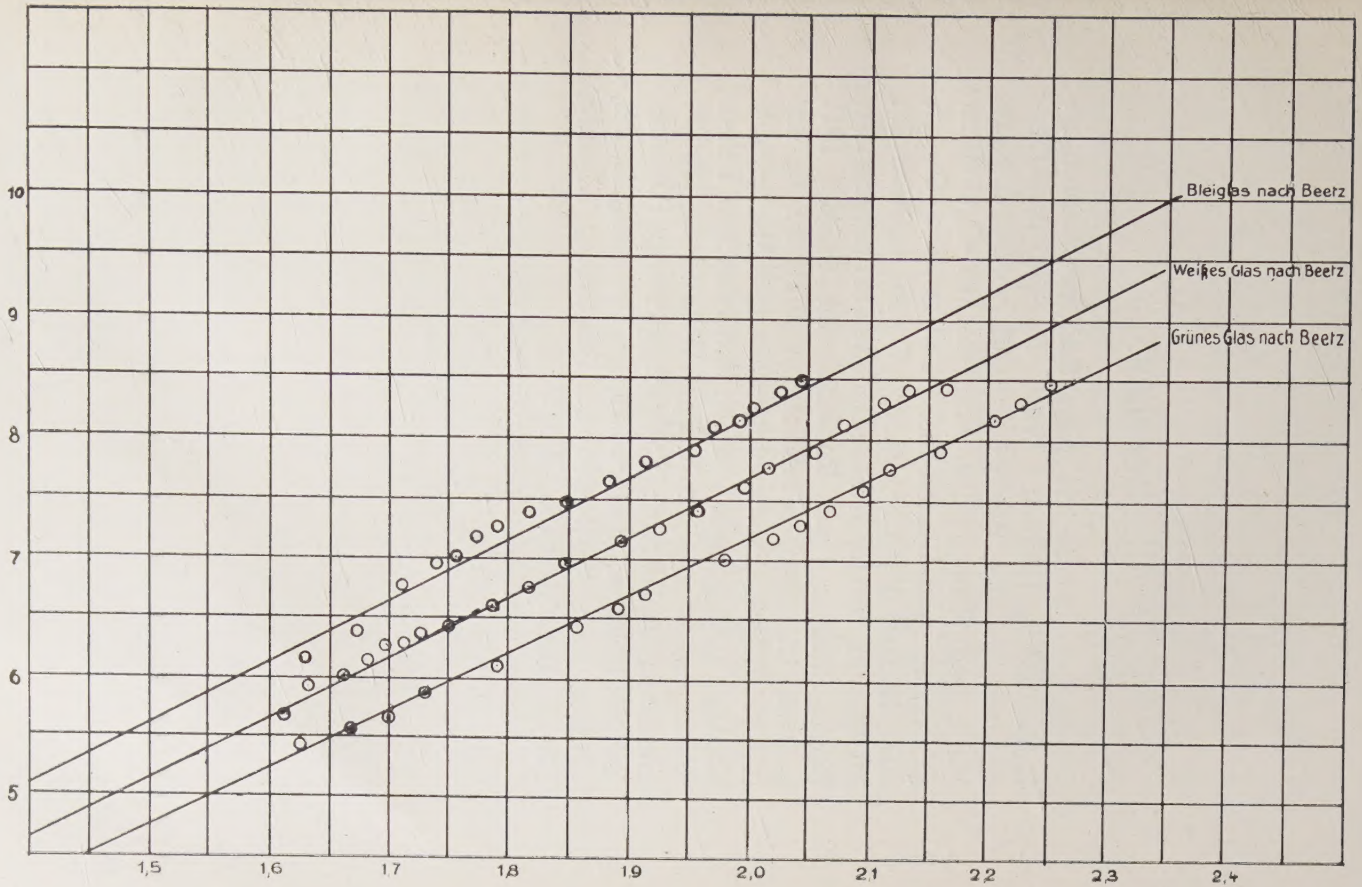

Kalkglas
Glas 16 III
Geräteglas
Duraxglas
Verbundglas
8
7
6
5
4
3
2
1,1
1,2
1,3
1,4
1,5
1,6
1,7
1,8
1,9
2,0
2,1


Quarzglas
Uviolglas
Thüringer-Glas
(Schilling)
Glas 397 III
Verbrennungsglas
Glas 59 III
9
8
7
6
5
4
3
1,1
1,2
1,3
1,4
1,5
1,6
1,7
1,8
1,9
2,0
2,1


o
k
t°
nach Bollè
13
12
11
10
9
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
2,6
2,7
2,8
2,9
3,0


i
h
g
nach Bollè
Glas b
12
11
10
9
8
7
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
2,6
2,7
2,8
2,9
3,0


n
f
m
l
d
nach Bollè
è
Glas a
13
12
11
10
9
8
6
2,1
2,2
2,3
2,4
2,5
2,6
2,7
2,8
2,9
3,0


Bleiglas nach Beetz
Weißes Glas nach Beetz
Grünes Glas nach Beetz
10
9
8
7
6
5
1,5
1,6
1,7
1,8
1,9
2,0
2,1
2,2
2,3
2,4

# Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Julius Felix Baumeister, am 4. Juli 1883 zu Bochum i. Westf. als Sohn des Obermeisters Theodor Baumeister und seiner Ehefrau Maria, geb. Röhling. Ich besuchte die Gymnasien zu Bochum und Wattenscheid und bestand Ostern 1906 daselbst die Reifeprüfung. Darauf studierte ich Mathematik und Naturwissenschaften in Freiburg i. B., Berlin, Straßburg und Rostock. Am 18. Mai 1911 bestand ich mein Staatsexamen und am 5. und 6. Juni 1912 eine Erweiterungsprüfung in Mathematik, Zoologie und Botanik. Meine akademischen Lehrer waren u. a. in Freiburg: Weismann, Lüroth, Himstedt; in Berlin: Schwarz, Hertwig, Foerster, Landau, Helmert; in Straßburg: Timerding, Braun, Goette, Jost; in Rostock: Falkenberg, Staude, Heydweiller, Spemann, Weber.

Ihnen allen, besonders meinen Rostocker Lehrern, danke ich herzlichst.